

Estudio y diseño de una embarcación de recreo a motor y sus sistemas

Trabajo Final de Grado



Facultad de Náutica de Barcelona
Universidad Politécnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Pieter Adriaan Van Dommele Blanch

Ignacio Masana Rivera

Dirigido por:

Ramon Grau

Grado en Ingeniería de Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 6 de mayo de 2019

Departamento de CEN

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un velero de 13 metros de eslora en todo su proceso, desde el estudio de formas hasta el íntegro diseño de sus sistemas, siempre siguiendo lo estipulado en la normativa española y la Sociedad de clasificación escogida.

Primeramente, se detalla el propósito de la embarcación y, a partir del estudio de diversas embarcaciones comunes y la normativa, se estipularán las formas, estructura, arqueo, peso y autonomía.

Se trasladará el diseño a ordenador mediante programas de modelación 3D, para realizar los cálculos de estabilidad e hidrodinámica y para poder ubicar los diferentes sistemas e instalaciones.

Se analizarán las ventajas físicas y químicas de la construcción de cascos en materiales compuestos. Se realizarán los planos de la construcción del velero con la ayuda de un programa de diseño 2D, usando como material resina reforzada con fibra de vidrio.

Finalmente se diseñarán cada uno de los sistemas que componen el velero. Entre los sistemas estudiados se encuentran el sistema de propulsión, combustible, agua, eléctrico, sistema de sentina y sistema de tratamiento de aguas grises y negras, cada uno de estos acompañados de su respectivo plano.

Abstract

The objective of this project is to design a sailboat of 13 meters in length throughout its process, from the study of forms to the complete design of its systems, always following the stipulations of the Spanish regulations and the chosen classification society.

When the purpose of the vessel is detailed, within the study of various common vessels and the regulations, the forms, structure, tonnage, weight and autonomy will be stipulated.

The design will be transferred to 3D modeling programs, to perform the stability and hydrodynamic calculations and to be able to locate the different systems and facilities.

The physical and chemical advantages of the construction of hulls in composite materials will be analyzed. The plans of the construction of the sailboat are going to be designed with the help of a 2D program, as resin material reinforced with fiberglass.

Finally, each of the systems that make up the sailboat will be described. Among the systems studied are the propulsion system, fuel system, water system, electrical system and gray and black water treatment system. Each one of the systems will have its own 2D design.

Tabla de Contenidos

Resumen.....	5
Abstract	6
Índice de Figuras	11
Índice de Gráficos.....	14
Índice de Tablas.....	15
1. Introducción	19
2. Diseño.....	22
2.1 Estudio de Formas	22
2.1.1 Estudio de otros veleros.....	22
2.1.2 Estudio de formas	25
2.1.3 Modelado del Casco	26
2.1.4 Habitabilidad	30
2.2 Construcción de la embarcación	33
2.2.1 Distribución de los refuerzos.....	33
2.2.2 Cálculos estructurales de la embarcación.....	34
2.2.3 Laminado.....	48
2.2.4 Diseño 3D	66
2.3 Condiciones de Navegación	69
3. Estabilidad e Hidrodinámica.....	72
3.1 Hidrodinámica	72
3.1.1 Cálculo de Resistencia	72
3.2 Estabilidad	78
3.2.1 Desplazamiento Final	78
3.2.2 Cálculo de estabilidad	79
4. Equipos	82
5. Sistemas	89
5.1 Sistema Eléctrico	89
5.2 Sistema de Propulsión Mecánica	96
5.2.1 Selección del motor.....	96
5.2.2 Cálculo de hélice.....	98
5.2.3 Sistema de Escape	107
5.3 Sistema de Combustible.....	111
5.4 Sistema de aguas y achique	115
5.4.1 Sistema de Refrigeración.....	115

5.4.2 Sistema de agua dulce.....	115
5.4.3 Sistema de aguas sucias	120
5.4.3.1 Sistema de aguas negras	121
5.4.3.2 Sistema de aguas grises.....	123
5.4.4 Sistema de Achique	124
6. Conclusiones.....	126
7. Bibliografía y Webgrafía	128
8. Anexo.....	132
8.1 Plano de Formas.....	132
8.2 Plano de Cubiertas	132
8.3 Plano del sistema Eléctrico.....	132
8.4 Plano del Sistema de combustible, escape y propulsión	132
8.5 Plano del Sistema de agua salada y suministro de agua sanitaria	132
8.6 Plano del sistema de achique y aguas sucias	132

Índice de Figuras

Figura 1: Disposición de planos para el diseño de la embarcación por ordenador. Editado con Rhinoceros.....	26
Figura 2: Vista lateral de las líneas del velero originales. Editado con Rhinoceros	27
Figura 3: Vista en alzado de las líneas del velero originales. Editado con Rhinoceros	27
Figura 4: Vista en alzado de las secciones originales del velero. Editado con Rhinoceros	28
Figura 5: Vista de secciones longitudinales y transversales de referencia. Editado con Rhinoceros.....	28
Figura 6: Vista de superficie del casco primitivo. Editado con Rhinoceros.....	28
Figura 7: Datos de parametrización del casco definitivo. Editado con Maxsurf.....	29
Figura 8: Vista de sala principal de la embarcación. Editado con AutoCad	30
Figura 9: Vista de Camarote de proa. Editado con AutoCad.....	31
Figura 10: Vista de Camarotes de popa. Editado con AutoCad	32
Figura 11: Disposición de refuerzos longitudinales. Editado con Rhinoceros	33
Figura 12: Disposición de refuerzos transversales y mamparos. Editado con Rhinoceros	34
Figura 13: Radio y ángulo entre refuerzos para paneles curvos. Fuente: ABS, sección 7, figura 7.1.....	36
Figura 14: Coeficiente de aspecto k para paneles curvos Fuente: ABS, sección 7, figura 7.2... 36	
Figura 15: Sección de refuerzo de tomado como referencia. Fuente: ABS, Figure 3.1	43
Figura 16 Sección de refuerzo propia. Editado con Autocad	44
Figura 17: Catálogo de precios de Roving 300 y 500. Fuente: Plastiform.....	61
Figura 18: Esquema de laminado por solape de la quilla y la roda. Editado con Autocad.	62
Figura 19: Disposición de las láminas de fibra de vidrio. Fuente: propia.....	63
Figura 20: Disposición de tubo de extracción de aire. Fuente: propia.	63
Figura 21: Proceso de sellado de la zona a laminar. Fuente: propia.....	64
Figura 22: Generación de vacío de la zona a laminar. Fuente: propia.....	65
Figura 23: Laminado finalizado. Fuente: propia.....	65
Figura 24: Casco de la embarcación definitivo. Editado con Rhinoceros	66
Figura 25: Vista del Casco y cubierta definitivos. Editado con Rhinoceros.....	66
Figura 26: Representación de refuerzos longitudinales en el casco. Editado con Rhinoceros ...	67

Figura 27: Representación de refuerzos Transversales y mamparos sobre el casco. Editado con Rhinoceros.....	67
Figura 28: Vista de Mamparos, cubierta, dobles fondos y mástil. Editado con Rhinoceros.....	67
Figura 29: Vista de Mamparos y paredes de lavabos y camarotes. Editado con Rhinoceros.....	68
Figura 30: Disposición de elementos principales de equipos y sistemas en doble fondo. Editado con Rhinoceros.....	68
Figura 31: vista del fondo de la embarcación. Editado con Rhinoceros	68
Figura 32 Vista de la trayectoria de diseño. Fuente: Google Maps	69
Figura 33: Muestra del estudio de alturas de ola en el mediterráneo. Fuente: Puertos del Estado.....	70
Figura 34: Muestra del estudio histórico de fuerza y sentido del viento en el mediterráneo. Fuente: Puertos del Estado	71
Figura 35: Análisis Hidrodinámico de la embarcación. Editado con Maxsurf.....	73
Figura 36: Datos principales de la embarcación. Editado con Maxsurf	75
Figura 37: Valor de Resistencia en función de la velocidad de la embarcación. Editado con Maxsurf	76
Figura 38: Vista ampliada de figura 37.....	77
Figura 39: Análisis hidrostático de la embarcación con todos los pesos definidos. Editado con Maxsurf	81
Figura 40: Luces de Costado combinadas de un velero. Fuente: Sotavento Online.....	82
Figura 41: Equipo de agarre de un velero. Fuente: Náutica y Yates	85
Figura 42: Vista de mástil y botavara del velero. Editado con Rhinoceros	87
Figura 43: Vista de apoyo de mástil en quilla. Editado con Rhinoceros	88
Figura 44: Distribución de los componentes del sistema eléctrico. Editado con Autocad	95
Figura 45: Motor Mini-74 47kW. Fuente: Solé Diesel.....	96
Figura 46: Disposición de hélice, timón y eje. Editado con Autocad	105
Figura 47: Ejemplos de sistemas de escape con y sin purgador. Fuente: Vetus.....	108
Figura 48: Ejemplos de purgadores con válvula de presión (izquierda) y con tubo de ventilación (derecha). Fuente: Vetus.....	109
Figura 49 Ejemplo de Colector/Silenciador. Fuente: Vetus	109
Figura 50: Cuello de cisne rígido. Fuente: Vetus.....	110
Figura 51: Vista preliminar del sistema de combustible. Editado con Autocad.....	112
Figura 52: Filtro decantador y de partículas del sistema de combustible. Fuente: Volvo Penta	113

Figura 53: Vista preliminar del sistema de agua fría y caliente dulce. Editado con Autocad ...	116
Figura 54: Vista de tanques almacén de agua y tanques de combustible (de izquierda a derecha). Editado con Rhinoceros	117
Figura 55: Funcionamiento de inodoro VacuFlush. Fuente: Sealand/Dometic	122
Figura 56: Componentes del sistema de aguas negras. Fuente: Sealand/Dometic.....	122
Figura 57: Vista Preliminar del sistema de recogida de aguas grises. Editado con Autocad	124

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Relación Eslora de flotación – Manga de los veleros estudiados. Editado con Excel.	23
Gráfico 2: Relación Eslora y desplazamiento de los veleros estudiados. Editado con Excel	24
Gráfico 3: Relación potencia- revoluciones del Mini -74. Potencia del motor (continua), potencia del propulsor (discontinua). Fuente: Solé Diésel	97
Gráfico 4: Relación Consumo - Revoluciones del motor Mini-74. Fuente: Solé Diésel.....	97

Índice de Tablas

Tabla 1: Datos de veleros estudiados. Fuente: Páginas de fabricantes	22
Tabla 2: Coeficiente de aspecto k para paneles planos. Fuente: ABS, sección 7, tabla 7.2.....	37
Tabla 3: Espesores mínimos de laminado obtenidos. Editado con Excel.....	40
Tabla 4: Módulos mínimos de refuerzos teóricos. Editado con Excel.....	43
Tabla 5: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos longitudinales de fondo. Editado con Excel	44
Tabla 6: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos longitudinales de costado. Editado con Excel	45
Tabla 7: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos longitudinales de cubierta. Editado con Excel	45
Tabla 8: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos transversales y transversales de cubierta. Editado con Excel.....	46
Tabla 9: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos de mamparos. Editado con Excel	47
Tabla 10: Espesores reales de trabajo. Editado con Excel	47
Tabla 11: Comparación de módulos teóricos con los reales. Editado con Excel	47
Tabla 12: Propiedades de los materiales a utilizar. Editado con Excel.	51
Tabla 13: Secuencias de laminado para cada una de las partes. Editado con Excel.	52
Tabla 14: Número de capas para cada una de las partes. Editado con Excel.	53
Tabla 15: Gramaje del total de cada una de las capas para cada parte. Editado con Excel.	53
Tabla 16: Gramaje total de cada una de las capas. Editado con Excel.....	54
Tabla 17: Peso total del adhesivo a utilizar. Editado con Excel.....	55
Tabla 18: Peso total del Gelcoat y el velo a utilizar. Editado con Excel.	55
Tabla 19: Gramaje total de la resina necesaria para el laminado. Editado con Excel.....	56
Tabla 20: Secuencia de laminado para los refuerzos. Editado con Excel.....	57
Tabla 21: Longitud, ancho y espesor de cada una de las partes de los refuerzos. Editado con Excel.	57
Tabla 22: Área de cada una de las planchas de los refuerzos. Editado con Excel.....	57
Tabla 23: Número de capas y gramaje de cada material y total. Editado con Excel.	58

Tabla 24: Gramos de resina necesarios para laminar los refuerzos. Editado con Excel.	58
Tabla 25: Dimensiones y secuencia de laminado para la roda y la quilla. Editado con Excel.	59
Tabla 26: Número de capas y espesor para la roda y la quilla. Editado con Excel.....	59
Tabla 27: Gramaje de cada material, velo y Gelcoat. Editado con Excel.	59
Tabla 28: Gramos de resina necesarios para laminar la roda y la quilla. Editado con Excel.....	60
Tabla 29: Pesos desglosados por partes y total de la embarcación. Editado con Excel.	60
Tabla 30: Catálogo de precios de tejidos Mat y Roving. Fuente: MEL composites.....	60
Tabla 31: Catálogo de precios de Madera de Balsa 150. Fuente: MEL composites.....	60
Tabla 32: Catálogo de precios de Resinas de Poliéster y Viniléster. Fuente: MEL composites ..	61
Tabla 33: Presupuesto de la laminación de la embarcación. Editado con Excel.....	62
Tabla 34: Tabla de áreas transversales afectadas por el viento. Editado con Excel	73
Tabla 35: Longitudes y Secciones transversales de apéndices. Editado con Excel	74
Tabla 36: Distribución de pesos de la embarcación. Editado con Excel	79
Tabla 37: Centro de gravedad de Casco, Refuerzos, plano vélico y equipo de fondeo. Editado con Excel.....	80
Tabla 38: Centro de gravedad de pesos relevantes de la embarcación. Editado con Maxsurf ..	81
Tabla 39: Material de navegación requerido según zona de navegación. Fuente: Orden FOM/1144/2003. Editado por Jordi Torralbo, Profesor de F.N.B.	84
Tabla 40: Balance Eléctrico de 12 Voltios de la embarcación. Editado con Excel.....	90
Tabla 41: Catálogo de Baterías eléctricas de servicio. Fuente: Exide Marine.....	92
Tabla 42: Catálogo de Baterías eléctricas de arranque de motor. Fuente: Exide marine	94
Tabla 43: Balance eléctrico de 220 Voltios de la embarcación. Editado con Excel.....	94
Tabla 44: Datos del buque para el cálculo del rendimiento propulsivo (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso).....	99
Tabla 45: Datos deducidos a partir de los datos del buque (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso).....	99
Tabla 46: Resultados de resistencia de la embarcación (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)	99
Tabla 47: Datos de la hélice (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)	100
Tabla 48: Resistencia viscosa y de apéndices (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)	100
Tabla 49: Resistencia por formación de olas (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)	100

Tabla 50: Resistencia del bulbo y espejo y correlación modelo-buque (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso).....	101
Tabla 51: Cálculo de la hélice (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)	101
Tabla 52: Resultados de propulsión a una hélice (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)	102
Tabla 53: Datos del buque y hélice y cálculo del paso (método Serie B). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)	103
Tabla 54: Tabla de factores de servicio. Fuente: ABS sección 18, Tabla 18.1	106
Tabla 55: Constante c en función del factor de servicio K. Fuente: ABS Sección 18, apartado 2.	106
Tabla 56: Estimación de capacidad de agua dulce de los tanques almacén. Editado con Excel	117
Tabla 57: Cálculo de secciones de conductos en sistema de agua dulce y refrigeración. Editado con Excel.....	120
Tabla 58: Restricciones de evacuación de aguas residuales. Fuente: BOE, Real Decreto 1434/1999, Cap V	123
Tabla 59: Requisitos de tipo y número de bombas de sentinas. Fuente: ISO 15083:2003.....	125

1. Introducción

Motivación

Ninguno de nosotros tuvo inicialmente una afición o particular interés por temas navales. Nos conocimos en la facultad de ingeniería técnica industrial de Barcelona realizando el grado de ingeniería mecánica y transcurrido un año decidimos movernos a la facultad náutica con el objetivo de realizar una ingeniería de manera más específica y aplicada, conociendo entonces, lo mínimo posible sobre cualquier tipo de embarcación.

Una vez aquí, ambos fuimos incrementando nuestro interés por la temática naval y disfrutando de gran parte de los diferentes bloques de asignaturas, entre los que se encuentran embarcaciones de recreo, materiales compuestos, proyectos de ingeniería y estructuras.

En este proyecto hemos querido plasmar en mayor o menor medida, cada uno de estos temas que más nos han gustado, aplicando todo nuestro conocimiento y dedicación.

Objeto

El proyecto consiste en el desarrollo de todos los procesos propios de diseño y construcción de una embarcación de recreo, concretamente una de 13 metros de eslora propulsada a vela y motor de combustión. Estos procesos incluyen establecer los objetivos del velero, diseño íntegro de casco y sistemas, estudio de refuerzos, estabilidad e hidrodinámica y proceso de construcción.

El desarrollo de los puntos anteriores, estará guiado por la “espiral de diseño”, donde cada vuelta de esta espiral es un repaso o cambio de los cálculos o decisiones tomadas según las modificaciones hechas en puntos de la vuelta anterior.

El primer punto de la espiral es definir el objetivo y el destino para el que será usada la embarcación y los diferentes servicios que pretende ofrecer, una vez realizado este paso se puede comenzar con el diseño de la embarcación, fundamentalmente con las formas y diseño en 3D de estas que permitirán distribuir y calcular los pasos siguientes.

Seguidamente se procederá a administrar los espacios interiores y refuerzos, y a diseñar los diferentes sistemas, dándole prioridad a agua dulce y combustible, ya que por tema de volumen de carga que suponen, serán indispensables para los siguientes cálculos.

Finalmente, y con los datos anteriores se realizarán los cálculos de estabilidad e hidrodinámica para obtener el total de especificaciones de la embarcación. Una vez en este punto se volverá a iniciar otra vuelta en la espiral.

Una vez realizado el modelo 3D de la embarcación y paralelamente a los puntos anteriores, se estudiará el proceso de construcción en materiales compuestos y todo el componente de diseño de interior.

Propósito

El velero Maxriter 45 está diseñado buscando el equilibrio entre la habitabilidad y confort que ofrece una embarcación más espaciosa con formas más cuadradas y la navegabilidad y agilidad que presenta una con formas más finas y marineras. Para encontrar este equilibrio, se han estudiado las formas de diversos modelos de similar eslora.

El propósito principal del Maxriter es el de convertirse en una vivienda que ofrezca todas las facilidades y comodidades para poder vivir en el todo el año, tanto para una familia como para un solo individuo. Al mismo tiempo está pensado para poder realizar largas travesías principalmente por el mediterráneo, mar en el que está pensado que se navegue, ya que ofrece unas condiciones meteorológicas idóneas para el propósito con el que está diseñado.

Soporte

Para el diseño del yate y sus sistemas, se llevará a cabo una búsqueda de las normativas que aplican a este tipo de embarcaciones y se contará con la experiencia adquirida durante la carrera y con la ayuda de los profesores de esta área.

Para la modelación 3D del casco y el diseño de interior, se usará el programa Rhinoceros en el que se cuenta con bastante experiencia adquirida de manera externa e interna a la facultad.

Para realizar los planos de cada uno de los sistemas, se usará el programa AutoCad, y para los cálculos de estabilidad e hidrodinámica, se usará Maxsurf Stability, ambos programas trabajados enormemente durante el transcurso de la carrera.

Finalmente, destacar el uso de Microsoft office como herramienta principal tanto para el redactado de la memoria (Word) como para el cálculo y administración de datos numéricos (Excel).

Nos apoyaremos también en otros softwares como Ganter para realizar la planificación del proyecto mediante diagramas Gant o LucidChart para elaborar diferentes gráficos y tablas.

Normativa aplicable

Se establece por Real Decreto como una embarcación de recreo, aquella embarcación que comprenda entre 2,5 y 24 metros de eslora proyectada y destinada para fines recreativos particulares y que transporten un número de pasajeros menor a 12. El Maxriter se encuentra dentro de este marco y es por eso que usaremos la normativa UNE-EN ISO referente a embarcaciones de recreo como referencia para el diseño de los sistemas.

Por otro lado, nos guiaremos de la sociedad de clasificación *American Bureau Of Shipping* (ABS) para realizar los cálculos estructurales, resistencia, escantillonado y construcción, siempre usando los puntos dedicados a embarcaciones de recreo fabricadas con materiales compuestos cuando estos existan. Finalmente, el Maxriter seguirá todas las indicaciones de MARPOL y SOLAS en cuanto a emisiones contaminantes y seguridad a bordo respectivamente.

2. Diseño

2.1 Estudio de Formas

En este apartado se detallan las formas del yate y el proceso de obtención de estas. Se parte del estudio de embarcaciones similares y en base a las características que ofrece cada tipo de embarcación estudiada y nuestros objetivos para el velero, se elegirán las formas y se trasladarán las medidas a un modelo 3D. Una vez las formas sean definitivas y se hayan definido cada uno de los espacios internos y su destino, se procederá a colocar los refuerzos adecuados.

2.1.1 Estudio de otros veleros

Se toman como veleros de muestra ocho modelos de seis de los astilleros más reconocidos tanto dentro del sector de los veleros como de embarcaciones de recreo en general. De estas embarcaciones se observará su eslora total (LOA), su eslora de flotación (LWL), su Manga (BEAM), Calado medio y Δ (Desplazamiento).

Veleros	LOA (m)	LWL (m)	BEAM (m)	CALADO MEDIO (m)	Δ (t)
Beneteau Oceanis 41.1	11,98	11,37	4,2	2,19	7,836
babaria yachts cruiser 46	13,6	12,94	4,35	2,1	12,6
Dufour Grand Large 46	14,15	12,54	4,5	2,2	10,76
Hanse 46	13,55	12,2	4,38	2,23	11,7
Dufour Grand Large 43	13,24	11,69	4,3	2,1	9,7
babaria yachts cruiser 41	11,9	10,75	3,96	2,05	8,6
Marlow-Hunter 47	14,76	13,61	4,57	2,13	16,32
Grand Soleil 46	14	12,72	4,41	2,3	12

Tabla 1: Datos de veleros estudiados. Fuente: Páginas de fabricantes

Las relaciones a estudiar serán Eslora –Manga y la de Eslora-Desplazamiento ya que se considera que ofrecen la información más relevante para sacar las conclusiones que se

necesitan en este apartado. Contrastando y comparando la información obtenida y con apoyo de las características que los propios fabricantes les otorgan a sus embarcaciones, se obtendrá una clara línea de separación entre los veleros más rápidos, estilizados y marineros, y otros más pesados y lentos, pero con mayor habitabilidad.

Eslora – Manga

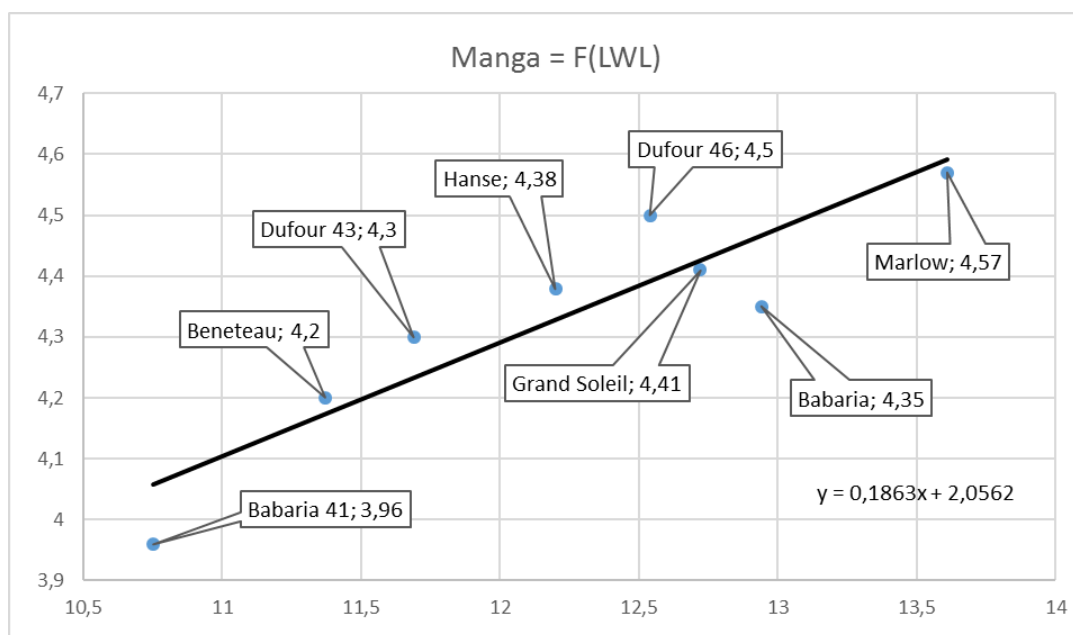


Gráfico 1: Relación Eslora de flotación – Manga de los veleros estudiados. Editado con Excel

En esta primera gráfica encontramos la relación Eslora / Manga, que nos da una idea orientativa de la proporción de formas de los veleros de muestra. Podemos observar una tendencia bastante uniforme en cuanto a las formas. Se puede ver que los cascos del Dufour y el Hanse, en este caso, ofrecen un mayor arqueado y resistencia al avance mientras que los dos veleros Babaria tienden a unas formas que ofrecen menor resistencia y mayor navegabilidad. Las embarcaciones restantes se encuentran en la línea de tendencia.

Eslora-Desplazamiento

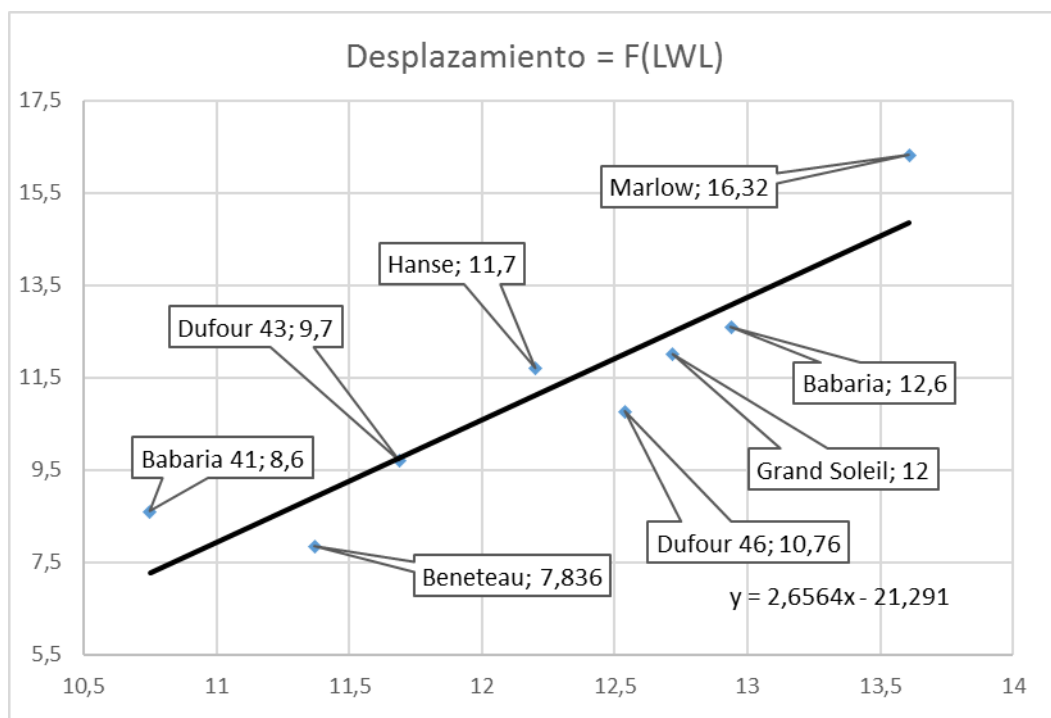


Gráfico 2: Relación Eslora y desplazamiento de los veleros estudiados. Editado con Excel

En esta segunda gráfica se encuentra la relación Eslora- Desplazamiento, que nos indica el peso de cada embarcación en función de su eslora. En este caso sí se observa una mayor dispersión entre los diferentes veleros de muestra y se pueden sacar más datos, pero menos claros que en la gráfica anterior.

En primer lugar, podemos deducir claramente qué embarcaciones ofrecerán una resistencia mayor al avance y, por lo tanto, serán más lentas navegando. Podemos observar que las embarcaciones que combinan unas formas más cuadradas y, por consecuencia, menos hidrodinámicas serán las más lentas y las que requerirán mayor cantidad de combustible navegando a motor. En el estudio de Eslora-Manga, se apreciaba que el Dufour y el Hanse eran las embarcaciones con más resistencia al avance y, en este caso, encontramos al Babaria y el Hanse. Por lo tanto, se puede apreciar, exceptuando el caso del Hanse 46, que las embarcaciones que tienden a tener unas formas menos hidrodinámicas, compensan su resistencia reduciendo el peso, y lo mismo sucede en el caso contrario con los veleros de formas más finas.

Por otro lado, los datos obtenidos aquí también nos pueden dar uno de los tres indicativos siguientes: qué embarcaciones tienen un mayor peso destinado a equipos o servicios, cuáles tienen un mayor espacio en peso destinado a agua dulce o combustible (mayor autonomía) o simplemente nos puede indicar cuáles de ellas tienen una estructura más pesada.

Esta información es más difusa y es difícil encontrar dónde se reparte ese peso extra que marca la diferencia entre las embarcaciones más pesadas de las más ligeras. Esto permite un mayor abanico de posibilidades en cuanto a la adaptación de la embarcación de este trabajo, siempre en función del propósito que se le quiera dar.

2.1.2 Estudio de formas

La embarcación de este proyecto tendrá una eslora inicial de 13 metros. Si usamos este dato para conseguir los valores de manga y desplazamiento a partir de las ecuaciones conseguidas mediante la curva de regresión, obtenemos:

- Eslora de flotación (LWL): 13 metros.
- Manga: 4,48 metros
- Desplazamiento: 13,24 toneladas

Como se ha comentado en el apartado del propósito, el Maxriter busca el equilibrio entre la habitabilidad y el confort que ofrece una embarcación con mayor arqueado y formas más robustas. También se buscará la navegabilidad y agilidad que presenta una con formas más hidrodinámicas y estilizadas.

Al mismo tiempo pretende convertirse en una vivienda que ofrezca todas las facilidades y comodidades para poder vivir en él todo el año y para poder realizar largas travesías, principalmente por el mediterráneo.

Se decide entonces establecer una estimación de peso de proyecto por encima de la línea de tendencia, pudiendo albergar un mayor volumen de combustible y de agua dulce. Para compensar esto se escogerá una manga inferior, manteniendo así la resistencia al avance, siguiendo la estrategia usada por las marcas estudiadas.

Finalmente se establece un puntal máximo, sin contar con el bulbo, que permita una estancia cómoda en el interior de pie, dejando espacio para la colocación de un buen volumen de tanques de combustible y agua.

Las dimensiones elegidas con las que se parte para realizar el diseño son:

- Estimación de Desplazamiento (Δ): 12 toneladas
- Eslora de flotación (LWL): 13 m
- Manga (B): 4,5 m
- Puntal: 2,2 m

Estas unidades son las que se toman, partiendo del estudio realizado en el apartado 2.1.1 y la síntesis de información recogida acorde con el propósito de la embarcación. Las medidas presentadas en el modelo final, son producto de las modificaciones y correcciones realizadas durante la parametrización del casco, buscando las formas más óptimas. Todo cambio de dimensiones en el proceso se detallará en el apartado correspondiente.

2.1.3 Modelado del Casco

1ª vuelta de espiral de diseño

Gracias a los conceptos explicados en el punto anterior, ya se cuenta con suficientes datos para poder empezar a dimensionar el casco. Se ha escogido el programa Rhinoceros para hacer el diseño 3D de la embarcación, ya que dispone de unas herramientas muy útiles para hacer un preciso trabajo.

Se diseñará una primera embarcación para poder pasarla al programa Maxsurf y, a partir de esta, encontrar las formas más óptimas.

Las dimensiones escogidas dan un espacio aproximado al de la figura 1:

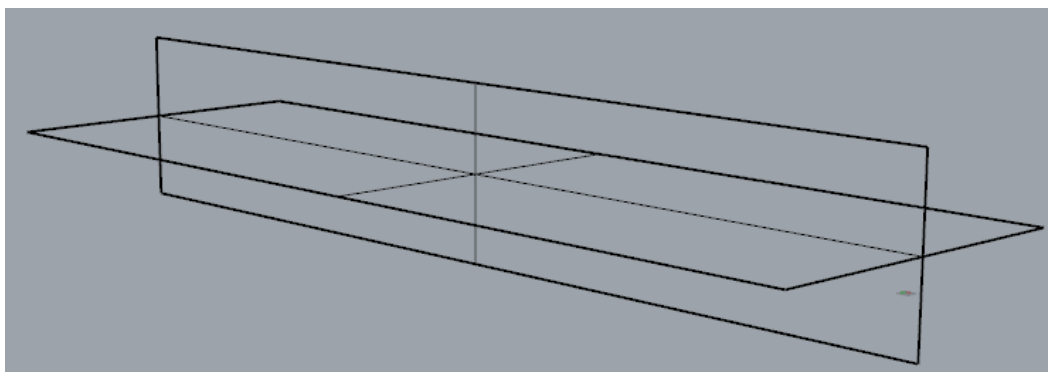


Figura 1: Disposición de planos para el diseño de la embarcación por ordenador. Editado con Rhinoceros

El primer paso será dimensionar la quilla, el espejo de popa y la cubierta usando solamente la vista lateral. Las curvaturas de la quilla e inclinación de espejo y roda, se dibujan en base a la quilla de la embarcación que más se adecua a nuestras preferencias de las estudiadas:



Figura 2: Vista lateral de las líneas del velero originales. Editado con Rhinoceros

Una vez se ha hecho, se procede a dibujar las formas del casco desde el alzado, teniendo en cuenta la manga máxima escogida y una curvatura en base a las embarcaciones estudiadas.

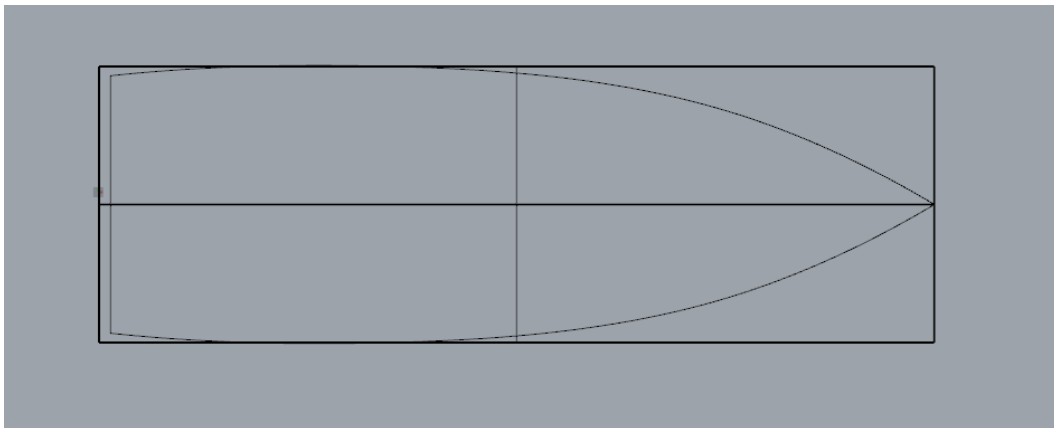


Figura 3: Vista en alzado de las líneas del velero originales. Editado con Rhinoceros

Seguidamente se divide la eslora en 10 secciones. Estas pretenden corresponder con las cuadernas de la embarcación, pero con alta probabilidad estará sujeto a modificaciones durante el proyecto, de momento se tomarán únicamente como secciones para modelar la primera versión del casco:

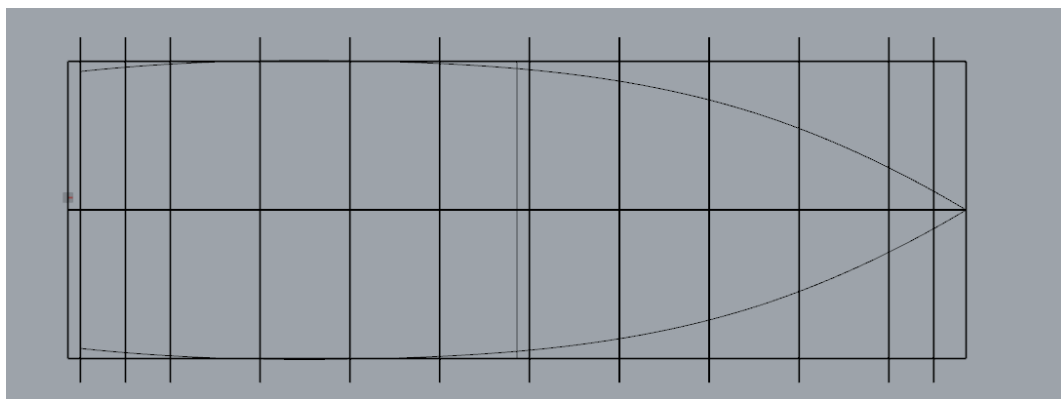


Figura 4: Vista en alzado de las secciones originales del velero. Editado con Rhinoceros

Se dibujan desde el espejo de popa hasta la roda las diferentes cuadernas correspondiendo con cada una de las secciones transversales dispuestas en el punto anteriores. Este paso, como los anteriores se realiza a partir de planos de formas de veleros estudiados durante el grado y basándonos de nuevo en embarcaciones cuya forma es afín a nuestros gustos y objetivos

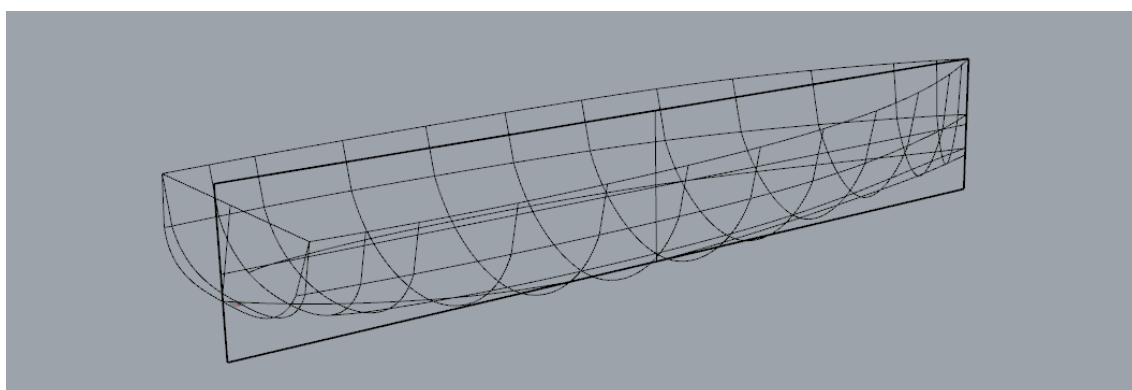


Figura 5: Vista de secciones longitudinales y transversales de referencia. Editado con Rhinoceros

Por último, se crean las superficies del casco mediante las curvas hechas a partir de las divisiones y se unen todas para formar una única superficie.

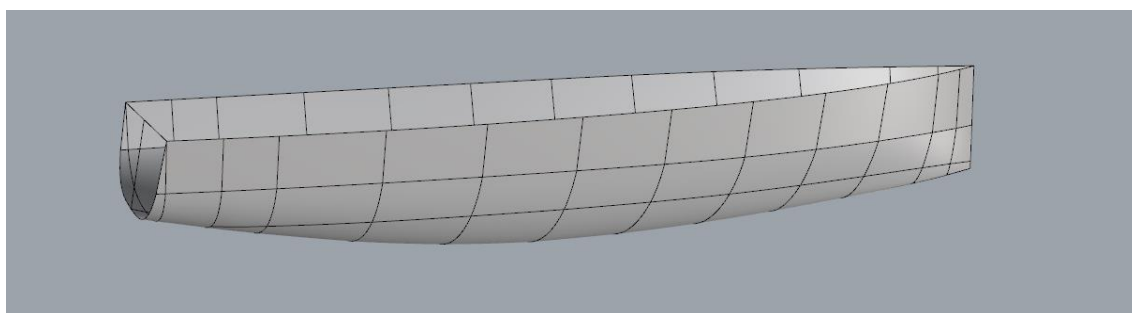


Figura 6: Vista de superficie del casco primitivo. Editado con Rhinoceros

Una vez se tiene este primer casco, se exporta al programa Maxsurf, con el que se parametrizará el casco para encontrar las formas más adecuadas variando diferentes parámetros, hasta encontrar el valor más óptimo de resistencia.

Para ello, se modificará el coeficiente de bloque y coeficiente prismático del casco virgen y se fijaran los parámetros que no deseamos que cambien, dejamos que Maxsurf modifique ligeramente las formas y se pasa a Maxsurf Resistance, donde se calculará la resistencia.

Este paso se realizará progresivamente hasta que se observe que la resistencia no baja más o no cambia, siempre sin llegar a modificar en gran medida las formas originales

Con los valores obtenidos se podrán realizar todos los principales cálculos del proyecto

Última vuelta de la espiral de diseño

Una vez finalizadas las primeras vueltas de la espiral de diseño en todo el proyecto se obtiene el valor de desplazamiento definitivo de 10,55 Toneladas. El valor difiere enormemente del estimado inicialmente, así que se deberá volver a parametrizar el casco con este nuevo valor y manteniendo los coeficientes encontrados para la resistencia más óptima y rehacer los cálculos de los diferentes apartados de diseño siguientes:

Parametric Transformation

☐ Parallel midbody

Aft midbody limit: 0 m Forward midbody limit: 0 m

Search For:

☐ Block Coefficient: 0.371 LCB aft of FP: -44.39 % DWL

☒ Prismatic Coefficient: 0.555 ☐ LCF aft of FP: -42.15 % DWL

☒ Midship Area Coefficient: 0.678 ☐ Topside Flare: 15.37 Degrees

☐ Waterplane Area Coefficient: 0.715

Scale To:

☐ Displacement: 10.55 t ☒ Beam on DWL: 3.1 m Density (water): 1.025 tonne/m³

☒ Length on DWL: 12.725 m ☒ Immersed Depth: 0.704 m

OK Cancel

Figura 7: Datos de parametrización del casco definitivo. Editado con Maxsurf

Los datos obtenidos son:

- Desplazamiento: 10,55 toneladas.
- Eslora de flotación (LWL): 12,725 metros.
- Manga de flotación: 3,1 metros.
- Calado: 0,704 metros

Todos los siguientes apartados han sido progresivamente modificados producto de las modificaciones en las diferentes vueltas de la espiral, pero solo se mostrará la última vuelta con los valores definitivos.

2.1.4 Habitabilidad

Con las formas finales se acaban de repartir los espacios de sala y camarotes y distribuir la colocación de cada uno de los equipos:

Sala principal

En la estancia principal se encontrará la cocina, baño común, mesa de navegación y acomodamiento. Es la sala más espaciosa de la embarcación y donde los tripulantes pasarán la mayor parte del tiempo. En ella, se podrá permanecer de pie sin problemas para una persona de hasta 1,95m, siendo la distancia mínima en toda la sala de 2m y la máxima de 2,1m. Estará dispuesta entre mamparos y su longitud es de 4,3m.

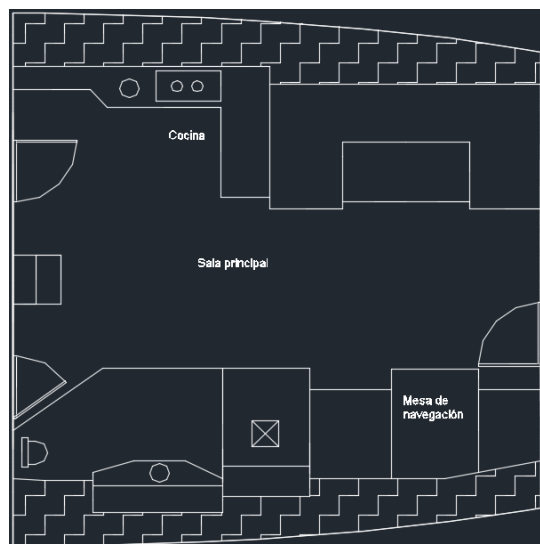


Figura 8: Vista de sala principal de la embarcación. Editado con AutoCad

Camarote de proa

El camarote de proa cuenta con baño propio y una cama doble, además de los armarios correspondientes. En la zona inmediata a la puerta, la altura de la cubierta es inferior, pero eso se compensa con un ligero descenso del doble fondo. El camarote de proa se encuentra delimitado entre el mamparo de colisión y el mamparo de proa de la sala principal con una longitud de 3,7m. Las camas se soportarán parte en el doble fondo y en gran medida en el casco, igual que todos los armarios y estanterías situadas en un costado.

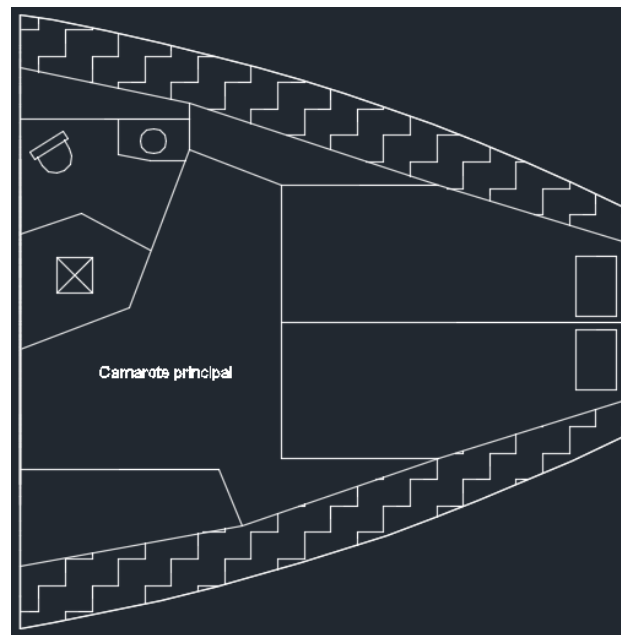


Figura 9: Vista de Camarote de proa. Editado con AutoCad

Camarotes de popa

Los camarotes de popa son completamente iguales. Igual que sucede con el camarote de proa cuentan con un desnivel del suelo para poder permanecer de pie en la zona inmediata a la puerta. Cada uno cuenta con una cama única y no tienen baño propio. Donde se encuentran las camas el techo es muy bajo debido a la bañera que se encuentra encima, está delimitado entre el mamparo de popa y el mamparo de la sala principal.

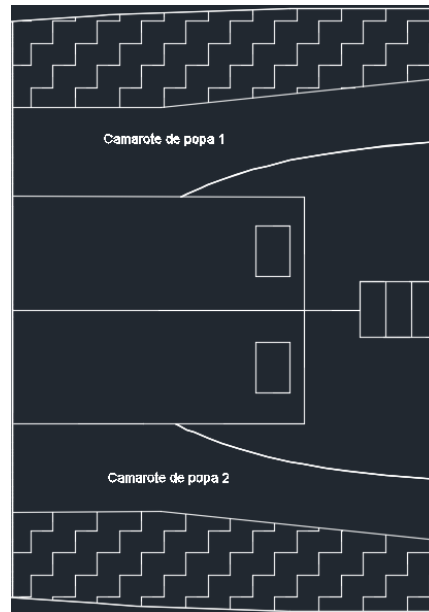


Figura 10: Vista de Camarotes de popa. Editado con AutoCad

Doble fondo

Bajo la sala principal se encuentra un doble fondo en el que dispondrán todos los equipos y sistemas principales, tanto tanques, generadores y bombas como todo el cableado y tuberías.

Sentinas

Bajo cada uno de los camarotes y doble fondo de la sala principal, se encuentran los tanques de sentina. En la sentina de proa y central, se encuentran únicamente las bombas respectivas de sentina mientras que la sentina de popa alberga el motor y el sistema de escape.

2.2 Construcción de la embarcación

La embarcación de este trabajo será de fibra de vidrio, por lo que todos los cálculos se harán según la sociedad de clasificación American Bureau of Shipping, apartado: “Rules of Building and Classing Reinforced Plastic Vessels”.

2.2.1 Distribución de los refuerzos

Este apartado se estructurará en refuerzos longitudinales y transversales, para poder detallar más precisamente cómo será cada uno.

Se definirán los refuerzos en función de las formas del casco, para minimizar los efectos adversos de los impactos y las deformaciones. Cabe destacar que en las imágenes siguientes se puede observar que no son las formas definitivas de los refuerzos, sino un primer esbozo de estos para poder realizar los cálculos. Más adelante, en el apartado de diseño 3D se podrá ver con claridad las formas finales.

Refuerzos longitudinales

Los refuerzos longitudinales se disponen en cubierta, en el fondo y en el costado. Para los de fondo, se han dispuesto dos refuerzos longitudinales, separados entre ellos por 650 milímetros. En cubierta se han dispuesto también dos refuerzos longitudinales, los cuales son proyecciones de los de fondo para que, en caso de algún incidente estructural, el esfuerzo se reparta con los refuerzos de fondo.

Por último, se dispone un refuerzo en el centro de cada cara perteneciente a los costados de la embarcación:

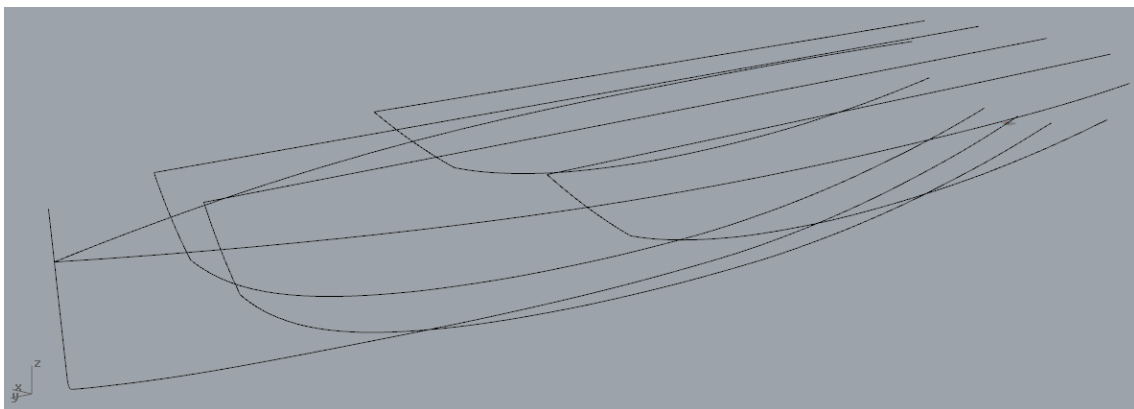


Figura 11: Disposición de refuerzos longitudinales. Editado con Rhinoceros

Refuerzos transversales

Los refuerzos transversales estarán separados una distancia de 610 mm todos ellos y se dispondrán 4 mamparos, uno en popa, el otro en proa y otros dos en medio, haciendo de separación entre los dormitorios y la estancia principal. En la figura 12 se pueden distinguir los refuerzos transversales de color negro y los mamparos de color azul.

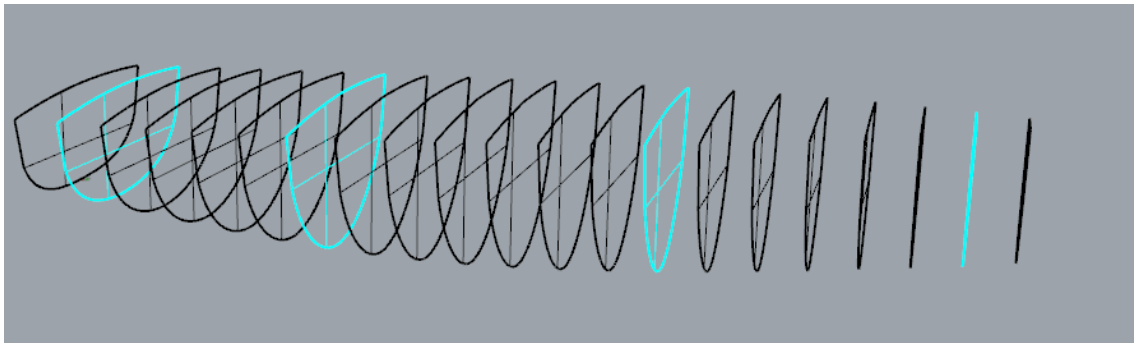


Figura 12: Disposición de refuerzos transversales y mamparos. Editado con Rhinoceros

Cada uno de los refuerzos transversales estará en contacto con los refuerzos longitudinales de fondo, costado, quilla, esloras de cubierta, etc.

2.2.2 Cálculos estructurales de la embarcación

Cálculo de espesores teóricos

Para poder hacer los cálculos de los refuerzos, primero se debe saber el espesor de cada una de las partes de la embarcación.

Se seguirá la normativa de American Bureau of Shipping (ABS), Sección 7 y 8 para embarcaciones hechas de fibra de vidrio, concretamente los apartados destinados a navegación en planeo y a velocidades iguales o menores de 31 kn.

Dicha normativa, será necesaria para concretar el espesor del laminado de fibra de vidrio. Se realizará el cálculo por partes:

- Fondo
- Costado
- Roda y quilla
- Codillos, esquinas y estampas
- Cubierta
- Superestructura
- Espejo de popa
- Tanques de combustible
- Mamparos

Laminado de fondo

Al ser una plancha curvada y no un panel plano, se usará la fórmula indicada en la normativa ABS para *curved panels*:

$$t = 0,04r \sqrt[3]{h/(k_1^2 - 1)}$$

Donde:

- t: espesor del laminado en mm
- r: radio de curvatura entre refuerzos en mm
- k₁: coeficiente de aspecto que varía en función de α
- h: distancia en metros desde el punto más bajo de la plancha hasta la cubierta

Para el coeficiente de aspecto, se deben observar las figuras 13 y 14. Dicho coeficiente será de 17,20, ya que la curvatura es de 30 grados y α vale la mitad del ángulo. La distancia h es de 1,75 metros y el radio de curvatura 2003,21 milímetros.

Por lo tanto, da como resultado un espesor mínimo de laminado de fondo de 15,76 milímetros.

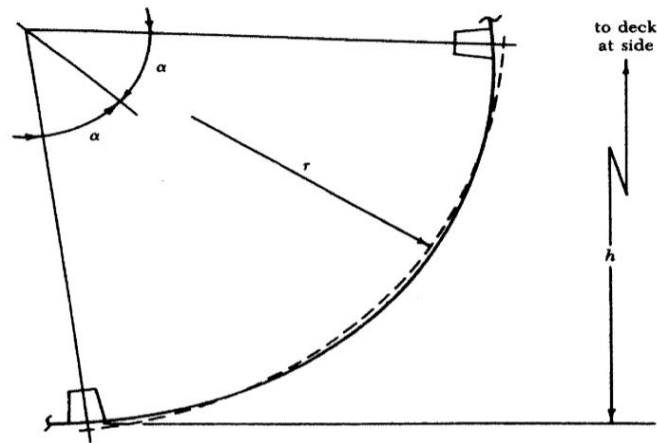


Figura 13: Radio y ángulo entre refuerzos para paneles curvos. Fuente: ABS, sección 7, figura 7.1

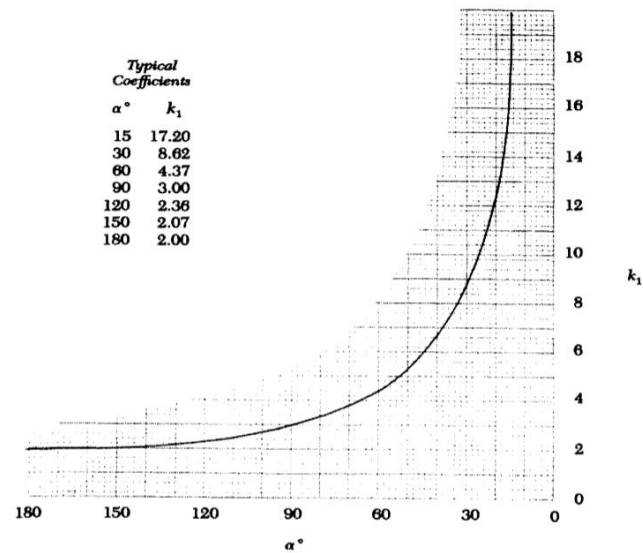


Figura 14: Coeficiente de aspecto k para paneles curvos Fuente: ABS, sección 7, figura 7.2

Laminado de costado

Al estar tratando con paneles planos, el coeficiente de aspecto cambia. Se debe mirar en la tabla 2:

Flat Panel Coefficients

<i>k</i>	<i>aspect ratio</i>
0.028	>2.0 : 1
0.028	2.0 : 1
0.027	1.9 : 1
0.027	1.8 : 1
0.026	1.7 : 1
0.025	1.6 : 1
0.024	1.5 : 1
0.023	1.4 : 1
0.021	1.3 : 1
0.019	1.2 : 1
0.016	1.1 : 1
0.014	1.0 : 1

Tabla 2: Coeficiente de aspecto *k* para paneles planos. Fuente: ABS, sección 7, tabla 7.2

Al ser paneles mucho más largos que anchos, la relación de aspecto será de 2 o más, por lo que el coeficiente valdrá 0,028. Se usa la siguiente fórmula para el cálculo del espesor:

$$t = 0,0510s\sqrt[3]{kh}$$

Donde:

- *t*: espesor del laminado en mm
- *s*: distancia mínima entre refuerzos
- *k*: coeficiente de aspecto
- *h*: altura desde la quilla hasta la cubierta

La distancia mínima entre refuerzos es de 600 milímetros, por lo que el espesor mínimo para esta parte de la embarcación es de 11,19mm.

Laminado de roda y quilla

Para el cálculo de estas dos partes, se multiplica por dos el valor del laminado de fondo:

$$t_1 = 2t,$$

Donde:

- t: laminado de fondo

Por lo tanto, el valor mínimo del espesor del laminado es de 31,52 milímetros.

Laminado de codillos, esquinas y estampas.

Para encontrar el valor de este espesor, se vuelve a necesitar el laminado de fondo, pero esta vez, en vez de multiplicar por 2, se multiplica por 1,5:

$$t_1 = 1,5t$$

Donde:

- t: laminado de fondo

Da como valor mínimo de espesor de laminado de 23,64 mm.

Laminado de cubierta

Se sigue la siguiente fórmula para el cálculo del espesor:

$$t = 0,0642s\sqrt[3]{(kch)}$$

Donde:

- s: distancia mínima entre refuerzos (600 mm)
- k: coeficiente de aspecto (0,028)
- c: 1 para cubiertas por encima de los tanques o bien 0,7 para cubiertas en cualquier otro lugar
- h: tipo de cubierta

La cubierta de esta embarcación está por encima de los tanques, por lo que el valor de c será

1. El valor de h variará en función del tipo de cubierta:

- Cubierta sin carga:

$$h = 0,02L + 0,46 \text{ (Mínimo } h=0,70)$$

Da como resultado $h_1 = 0,72$

- Cubierta de trabajo:

$$h = 0,02L + 0,76$$

Se obtiene $h_2 = 1,02$

Por lo tanto, cuando se aplica a la fórmula de espesor, se obtienen dos valores por separado:

- Espesor de cubierta sin carga:

$$t = 0,0642s\sqrt[3]{(kch)}$$

El espesor mínimo de laminado de la cubierta sin carga t_1 será de 10,48 mm.

- Espesor de cubierta de trabajo:

$$t = 0,0642s\sqrt[3]{(kch)}$$

Se obtiene como resultado $t_2 = 11,77$ mm.

Laminado de espejo de popa

Para obtener este valor, se multiplica el valor del espesor mínimo del laminado de fondo por 1,5.

$$t_1 = 1,5t$$

Donde:

- t : laminado de fondo

Se obtiene 23,64 mm de espesor.

Laminado de mamparos

Esta embarcación tiene 4 mamparos, y se hará el cálculo a partir del mamparo más grande, para conseguir el espesor mínimo mayor para tener más seguridad. Se hace el cálculo mediante la fórmula:

$$t = 0,0404s\sqrt[3]{(kh)}$$

Donde:

- t: espesor en milímetros
- s: longitud del lado más corto del mamparo
- k: coeficiente de aspecto
- h: distancia del canto más bajo del mamparo a cubierta

La longitud del lado más corto del mamparo es de 673 milímetros y, al ser una plancha plana, el coeficiente de aspecto k es de 0,028. La distancia del canto más bajo del mamparo hasta la cubierta es de 0,68 metros.

Con estos valores, se obtiene como resultado un espesor mínimo de mamparos de 7,26 milímetros.

Se resumen todos los espesores mínimos obtenidos en la siguiente tabla:

	Espesor mínimo (mm)
Fondo	15,76
Costado	11,19
Roda y quilla	31,52
Codillos, esquinas y estampas	23,64
Cubierta de trabajo	11,77
Cubierta sin carga	10,48
Espejo de popa	23,64
Mamparos	7,26

Tabla 3: Espesores mínimos de laminado obtenidos. Editado con Excel

Al tener ya todos los valores de espesor mínimo para cada una de las partes mencionadas, se procede a dimensionar los refuerzos a partir de la normativa y a definir el espesor de trabajo.

Cálculo de espesores de trabajo

En este apartado se hará la comparación entre los módulos mínimos de refuerzos teóricos calculados con el de los reales, obtenidos a partir de los espesores mínimos de trabajo. Es decir, se dimensionarán los refuerzos para cada una de las partes a la vez que se consigue encontrar su espesor real de trabajo.

El primer paso es calcular los módulos teóricos (SM) a partir de la normativa ABS sección 8:

Refuerzos de fondo:

$$SM = 4.17 c V s l^2$$

Donde:

- c: 0,6
- v: velocidad (8,5 kn)
- s: separación entre refuerzos de fondo (0,60 m)
- l: luz entre los refuerzos longitudinales de fondo (1,19 m)
- Se obtiene como resultado: SM= 18,07 cm³

Refuerzos de costado

$$SM = 19,38 c h s l^2$$

Donde:

- c: 1
- h: puntal (2,1 m)
- s: espaciado entre refuerzos (0,44 m)
- l: luz entre los refuerzos de costado (0,94 m)

SM= 15,82 cm³

Refuerzos de esloras de cubierta

$$SM = 19,38chl^2$$

Donde:

- c: 1, para refuerzos situados a una altura superior de los tanques
- h: para cubiertas de trabajo, $h = 0,02L + 0,76$ (1,02 m)
- s: la tercera parte de la manga total (1,44 m)
- l: luz entre exteriores del refuerzo (1,02 m)

$$SM = 29,61 \text{ cm}^3$$

Refuerzos de transversales y transversales de cubierta

$$SM = 19,38chl^2$$

Donde:

- h: para cubiertas de trabajo, $h = 0,02L + 0,76$ (1,02)
- s: espaciado entre refuerzos (0,61 m)
- c: 1, para refuerzos situados a una altura superior de los tanques
- l: luz entre exteriores del refuerzo (2,16 m)

$$SM = 56,26 \text{ cm}^3$$

Refuerzos de mamparos

$$SM = 19,38chl^2$$

Donde:

- c: 0,58 para refuerzos de mamparos
- s: distancia entre refuerzos (0,61 m)
- l: luz entre exteriores del refuerzo (2,16 m)
- h: puntal (2,1 m)

$$SM = 57,59 \text{ cm}^3$$

En la tabla 4, se resumen todos los módulos obtenidos:

	Módulos (cm ³)
longitudinales de fondo	18,07
Costado	15,82
Esloras de cubierta	29,61
Transversales de cubierta	56,26
Mamparos	57,59

Tabla 4: Módulos mínimos de refuerzos teóricos. Editado con Excel

El siguiente paso a realizar es encontrar el módulo real del refuerzo de cada una de las partes, dimensionándolo y encontrando a la vez el espesor de trabajo de cada una de las partes. Se usará como referencia el refuerzo de la figura 15, encontrada en la normativa:

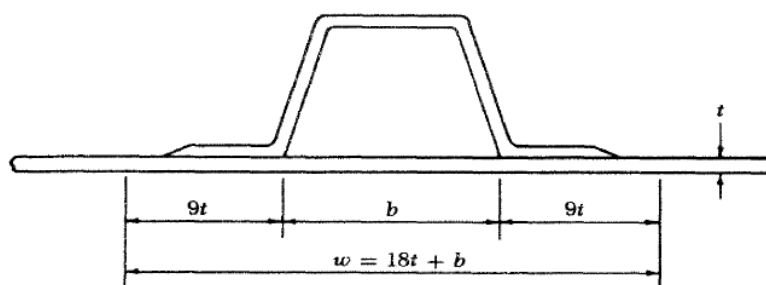


Figura 15: Sección de refuerzo de tomado como referencia. Fuente: ABS, Figure 3.1

Esta tarea se realiza dejando siempre el espesor t como variable sin valor hasta el final, para que, en el último momento, una vez obtenidas las fórmulas de SM de trabajo, se pueda variar su valor para encontrar los datos más óptimos.

Se separarán los refuerzos en distintas partes: chapa superior, chapas laterales, chapas laterales inferiores y chapa base.

Las chapas laterales, la superior y el espesor del refuerzo no están sujetos a la normativa, por lo que se impone que la altura del refuerzo es de 6,5 cm, el ancho de la superior es 8,5 cm y el espesor 0,8 cm. Se representan estas medidas en la figura 16.

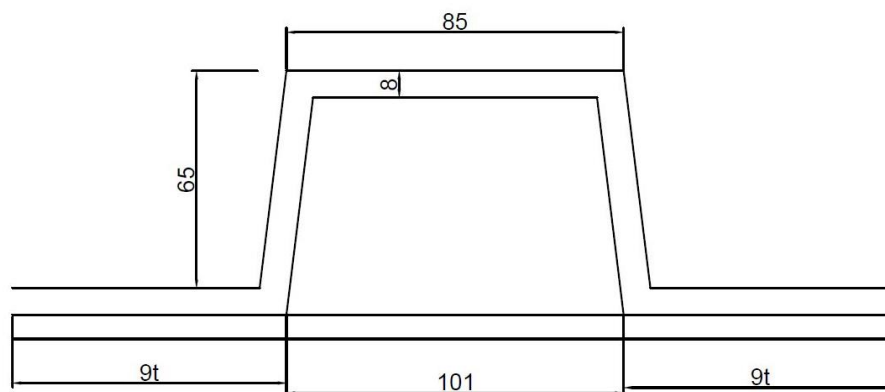


Figura 16 Sección de refuerzo propia. Editado con Autocad

Para calcular el módulo del refuerzo de cada uno, se necesita calcular el área total, la distancia del eje neutro a la línea base, el momento de inercia total y la distancia más alejada del neutro.

Se comparará el módulo SM obtenido con el calculado teóricamente con anterioridad mediante la normativa.

Todo esto se realizará con la herramienta Excel, permitiendo fácilmente introducir las formulas pertinentes para los cálculos y poder variar los resultados cambiando el valor de t .

Una vez más se separará por partes:

Módulo real de longitudinales de fondo

	Chapa superior	Chapa lateral 1	Chapa lateral 2	Chapa lateral	Chapa lateral	Chapa base
Área (cm ²)	6,80	5,20	5,20	10,74	10,74	60,89
Distancia a la línea de base (cm)	8,48	5,23	5,23	1,98	1,98	0,79
Momentos a la línea base (cm ⁴)	57,66	27,20	27,20	21,26	21,26	48,11
Momento de inercia sobre el propio eje (cm ⁴)	0,36	18,31	18,31	0,61	0,61	12,67
Momento de inercia sobre el eje neutro (cm ⁴)	28,54	39,86	39,86	45,09	45,09	264,99

Tabla 5: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos longitudinales de fondo. Editado con Excel

Donde:

- Espesor: 1,58 cm
- Área total del refuerzo: 99,57 cm²
- Distancia del eje neutro a la línea base: 2,04 cm
- Total de inercias: 463,43 cm⁴
- Fibra más alejada del eje neutro: 7,07 cm
- Módulo real del refuerzo: SM= 65,55 cm³

Módulo real de longitudinal de costado

	Chapa superior	Chapa lateral 1	Chapa lateral 2	Chapa lateral	Chapa lateral	Chapa base
Área (cm ²)	6,80	5,20	5,20	7,42	7,42	33,89
Distancia a la línea de base (cm)	8,02	4,77	4,77	1,52	1,52	0,56
Momentos a la línea base (cm ⁴)	54,54	24,80	24,80	11,28	11,28	18,98
Momento de inercia sobre el propio eje (cm ⁴)	0,36	18,31	18,31	0,43	0,43	3,54
Momento de inercia sobre el eje neutro (cm ⁴)	33,56	43,69	43,69	36,67	36,67	168,99

Tabla 6: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos longitudinales de costado. Editado con Excel

Donde:

- Espesor: 1,12 cm
- Área total del refuerzo: 65,94 cm²
- Distancia del eje neutro a la línea base: 2,21 cm
- Total de inercias: 363,29 cm⁴
- Fibra más alejada del eje neutro: 7,07 cm

Módulo real del refuerzo: SM= 51,38 cm³

Módulo real de esloras de cubierta

	Chapa superior	Chapa lateral 1	Chapa lateral 2	Chapa lateral	Chapa lateral	Chapa base
Área (cm ²)	6,80	5,20	5,20	7,86	7,86	36,98
Distancia a la línea de base (cm)	8,08	4,83	4,83	1,58	1,58	0,59
Momentos a la línea base (cm ⁴)	54,94	25,12	25,12	12,41	12,41	21,82
Momento de inercia sobre el propio eje (cm ⁴)	0,36	18,31	18,31	0,45	0,45	4,29
Momento de inercia sobre el eje neutro (cm ⁴)	32,45	42,84	42,84	37,52	37,52	178,78

Tabla 7: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos longitudinales de cubierta. Editado con Excel

Donde:

- Espesor: 1,18 cm
- Área total del refuerzo: 69,89 cm⁴
- Distancia del eje neutro a la línea base: 2,17 cm
- Total de inercias: 371,96 cm⁴
- Fibra más alejada del eje neutro: 7,07 cm

Módulo real del refuerzo: SM= 52,61 cm³

Módulo real de transversales y transversales de cubierta

El espesor de cubierta es de 1,18 y da como resultado un módulo de 52,54 cm⁴, siendo inferior al mínimo requerido por la normativa. Se opta por aumentar el espesor hasta 1,52 cm para que dé un valor óptimo.

	Chapa superior	Chapa lateral 1	Chapa lateral 2	Chapa lateral	Chapa lateral	Chapa base
Área (cm ²)	6,80	5,20	5,20	10,30	10,30	56,94
Distancia a la línea de base (cm)	8,42	5,17	5,17	1,92	1,92	0,76
Momentos a la línea base (cm ⁴)	57,26	26,88	26,88	19,78	19,78	43,27
Momento de inercia sobre el propio eje (cm ⁴)	0,36	18,31	18,31	0,58	0,58	10,96
Momento de inercia sobre el eje neutro (cm ⁴)	28,83	40,08	40,08	43,72	43,72	249,35

Tabla 8: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos transversales y transversales de cubierta.
Editado con Excel

Donde:

- Espesor: 1,52 cm
- Área total del refuerzo: 94,75 cm⁴
- Distancia del eje neutro a la línea base: 2,05 cm
- Total de inercias: 445,78 cm⁴
- Fibra más alejada del eje neutro: 7,07 cm

Módulo real del refuerzo: SM= 63,05 cm³

Módulo real de mamparos

El espesor de los mamparos es de 0,73 cm y da como resultado un módulo de refuerzo de 47,82 cm⁴ siendo más pequeño del obtenido teóricamente. Se aumenta el espesor a 1,37 cm para encontrar el resultado óptimo.

	Chapa superior	Chapa lateral 1	Chapa lateral 2	Chapa lateral	Chapa lateral	Chapa base
Área (cm ²)	6,80	5,20	5,20	9,22	9,22	47,62
Distancia a la línea de base (cm)	8,27	5,02	5,02	1,77	1,77	0,69
Momentos a la línea base (cm ⁴)	56,24	26,10	26,10	16,33	16,33	32,62
Momento de inercia sobre el propio eje (cm ⁴)	0,36	18,31	18,31	0,53	0,53	7,45
Momento de inercia sobre el eje neutro (cm ⁴)	29,96	40,94	40,94	40,67	40,67	214,71

Tabla 9: Cálculos para la obtención del módulo real de los refuerzos de mamparos. Editado con Excel

Donde:

- Espesor: 1,37 cm
- Área total del refuerzo: 83,27 cm²
- Distancia del eje neutro a la línea base: 2,09 cm
- Total de inercias: 407,89 cm⁴
- Fibra más alejada del eje neutro: 7,07 cm

Módulo real del refuerzo: SM= 57,69 cm³

Las siguientes tablas indican los espesores finales de trabajo para poder laminar correctamente la embarcación y la comparación de los módulos teóricos con los reales:

	Espesor de trabajo (cm)
Fondo	1,58
Costado	1,12
Roda y quilla	3,16
Codillos, esquinas y estampas	2,37
Cubierta de trabajo	1,18
Cubierta sin carga	1,1
Espejo de popa	2,37
Mamparos	1,37

Tabla 10: Espesores reales de trabajo. Editado con Excel

	Módulos teóricos (cm ³)	Módulos reales (cm ³)
longitudinales de fondo	18,07	65,55
Costado	15,82	51,37
Esloras de cubierta	29,61	52,54
Transversales y transversales de cubierta	56,26	63,05
Mamparos	57,59	57,69

Tabla 11: Comparación de módulos teóricos con los reales. Editado con Excel

2.2.3 Laminado

Materiales a utilizar

Los materiales más utilizados en esta embarcación son capas de tejidos de fibra de vidrio y resina. Pero también se empleará madera de balsa para reforzar las partes horizontales donde se vaya a aplicar más esfuerzos.

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio estará presente en todas las partes de la embarcación, desde los refuerzos hasta la superestructura. Dicha fibra se utilizará en forma de lámina, es decir, numerosas capas de fibra de vidrio mezcladas con la resina a emplear.

Es importante también mencionar que las láminas están compuestas por numerosas fibras que tienen o bien, direcciones específicas o aleatorias. Para el caso de las láminas de fibras con una dirección concreta, se disponen con un ángulo escogido y se llaman Roving. Las que tienen fibras con una dirección aleatoria se llaman MAT y su composición es de fibras con direcciones distintas entre ellas.

Los Roving pueden tener un gramaje superior al de los MAT, por lo tanto, aportan un componente muy bueno de refuerzo al laminado total y al tener unas fibras direccionadas también aportan una resistencia a las tensiones muy focalizada. Por otra parte, las MAT son excelentes para unir superficies ya que no siguen un patrón y ofrecen más contacto superficial.

Por lo tanto, la manera más óptima de laminar los dos tejidos entre ellos es disponer una capa de MAT entre dos de Roving.

Pero no es el sentido de las fibras lo único que diferencia estos dos tejidos, ya que también cuenta el gramaje de cada uno de las láminas que existen en el mercado. Es decir, que hay distintas densidades de tejido para cada uno de los MAT. Por ejemplo, no será lo mismo un MAT 300 que un MAT 450 ya que el número que sigue al nombre del material indica su densidad y lo mismo para los Roving.

Para esta embarcación se usarán los siguientes tejidos:

- MAT 300 (g/m²)
- MAT 450 (g/m²)
- Roving 500 (g/m²)
- Roving 300 (g/m²)

Se han escogido estos gramajes para poder jugar más con el orden de laminado, ya que el espesor de cada parte marca un límite de capas a disponer. Cuanto más densa sea una capa, más espesor ocupará y menos láminas se podrán usar.

Madera de balsa

Como ya se ha dicho, se usará madera de balsa para aportar más rigidez a las partes horizontales de la embarcación. Dichas partes serán la cubierta, el techo de la caseta y el suelo de la bañera. Estas superficies reciben muchas tensiones y al estar dispuestas horizontalmente, son mucho más sensibles a los esfuerzos verticales que los costados de la caseta, por ejemplo.

La madera de balsa es un material perfecto para este uso, ya que aporta un buen nivel de rigidez con un espesor muy bajo. Es muy importante tener en cuenta que el espesor sea el mínimo posible, ya que la madera es un material pesado y se debe optimizar al máximo.

Para unir las fibras de vidrio a la madera, se debe usar un adhesivo que lo permita. Se ha escogido el adhesivo ENGUARD BP 89 ARF ya que ofrece unas buenas prestaciones para la correcta unión de fibra-madera con un bajo espesor. Se deberá aplicar una capa de adhesivo a cada lado de la madera que esté en contacto con la fibra.

El espesor de madera de balsa escogido es de 6,35 milímetros.

Resina de poliéster

La resina es utilizada para unir las distintas capas de fibra de vidrio, empapándolas y endureciéndose posteriormente. Hay distintos tipos de resinas de poliéster a utilizar, pero lo más usual es el uso de la resina isoftálica y la ortoftálica.

La resina isoftálica es ideal para el laminado del caso, ya que es muy resistente al agua, a los agentes químicos y ofrece mucha más resistencia a los daños y tensiones que las otras.

Por otro lado, la resina ortoftálica es más rígida y tiene menos resistencia a tensiones. Es perfecta para la laminación de la obra muerta del casco, ya que tarda más en cambiar su estado a gel y da más tiempo a moldear las piezas antes de catalizarse.

El uso de resinas dentro del mundo de la construcción naval es muy lógico, ya que es un material que, al añadir las sustancias químicas adecuadas, cambia su estado de líquido a sólido sin tener la posibilidad de que vuelva a su antiguo estado. Es viscosa, propiedad perfecta para que avance por las fibras y las empape del todo sin dejar espacios secos.

Cabe destacar que no se usa la resina isoftálica para laminar toda la embarcación porque así se abaratan costes, ya que la ortoftálica es más económica y, al fin y al cabo, no toda la embarcación está siempre en contacto con el agua.

Para que la resina pase de estar en estado líquido a sólido, se debe usar un catalizador. La cantidad a aplicar es de un 1,5% de la resina total para que se endurezca. No es un proceso inmediato, por lo que tarda unos minutos a endurecerse, dando tiempo a mojar las fibras.

Gelcoat

El gelcoat es la capa más externa de la embarcación, ya que, a parte de sus propiedades, ofrece un acabado perfecto.

Sus propiedades son excelentes para la construcción de una embarcación, ya que es un material completamente impermeable y, al aplicarlo encima del laminado de fibra de vidrio, lo protege por completo del agua de mar. También protege la embarcación de los rayos UV y de la hidrólisis.

Velo superficial

El velo de superficie es un componente que se utiliza para que las fibras de vidrio no aparezcan en la superficie del laminado. Es decir, hace de pantalla entre la superficie y el interior del laminado. También aporta resistencia y solidez a la pared de la laminación

Peso de la embarcación

Para este cálculo utilizaremos los coeficientes indicados por el ABS basados en las relaciones de cantidad entre resina y fibra, siendo el espesor de laminado para el Mat 0,25 por cada 100g de Mat y 0,16 por cada 100g de tejido Roving:

- Mat 300 g/m² * 0,25/100 = 0,75 mm
- Mat 450 g/m² * 0,25/100 = 1,125 mm
- Roving 500 g/m² * 0,16/100 = 0,8 mm
- Roving 300 g/m² * 0,16/100 = 0,48 mm

Teniendo los espesores de cada capa, se procede a calcular el peso de la embarcación teniendo en cuenta la estructura de los refuerzos, la quilla y la roda y los laminados del casco, la cubierta y la superestructura.

Lo primero a definir es la secuencia de laminado y el número de capas para cada parte de la embarcación, obteniendo el espesor exacto de cada una de ellas.

En la tabla 12 figura la densidad de cada uno de los materiales, así como su espesor. Con el fin de simplificar las tablas, se ha asignado una letra a cada uno de los materiales.

	Densidad (g/m ²)	Espesor de materiales
A: Mat	300	0,00075
B: Mat	450	0,001125
C: Tissu	500	0,0008
D: Tissu	300	0,00048
H: Balsa	150000	0,00635
Gelcoat	1200000	0,0006
Velo	30	
Adhesivo	1300000	0,003

Tabla 12: Propiedades de los materiales a utilizar. Editado con Excel.

Los cálculos se han dividido en 2 partes, primero el casco y la superestructura y segundo los refuerzos. Para las dos partes se han seguido los mismos pasos: primero se dispone la secuencia de laminado, es decir, el orden en el que irán las capas desde la más exterior hasta la más interior. Posteriormente, se agrupan dichas capas sin tener en cuenta el orden y se calcula el área de cada parte para poder calcular el peso de cada una de ellas, en función de las capas y del material. Por último, se suman todos los pesos y se obtiene el resultado final.

Casco y superestructura

El orden de colocación de cada material es el de la siguiente tabla, separado por partes: Casco, paredes verticales, suelos horizontales y espejo de popa.

Secuencias de laminado								
Monolítico		Verticales			Horizontales			Espejo
Fondo	Costado	Bañera	Caseta	Mamparos	Bañera	Techo	Cubierta	Espejo
Gel coat	Gel coat	Gel coat	Gel coat	A	Gel coat	Gel coat	Gel coat	Gel coat
A	A	A	A	B	A	A	A	A
B	B	B	B	D	B	B	B	B
D	D	D	D	B	D	D	D	D
B	B	B	B	C	B	B	B	A
C	C	C	C	D	H	H	H	B
B	B	B	B	B	D	D	D	D
C	C	C	C	C	B	B	B	C
B	B	B	B	B				A
C	C			C				B
B	B			B				D
C	C			C				C
B	B			B				B
C				C				C
B				B				B
C								C
B								B
								C
								B
								C
								B
								C
								B
								C
								B
								C
								B

Tabla 13: Secuencias de laminado para cada una de las partes. Editado con Excel.

Se procede a la agrupación de las capas sin tener en cuenta el orden:

	Área	Número de capas					Espesor
		A	B	C	D	H	
Monolítico							
Costado	20,6194	1	6	4	1	0	0,0118
Fondo	51,9235	1	8	6	1	0	0,0156
Verticales							
Bañera	3,8395	1	4	2	1	0	0,0079
Caseta	7,8244	1	4	2	1	0	0,0079
Mamparos	18,6631	1	7	5	2	0	0,0136
Horizontales							
Bañera	6,7072	1	3	0	2	1	0,015
Techo	14,7707	1	3	0	2	1	0,015
cubierta	17,9389	1	3	0	2	1	0,015
Espejo							
Espejo	4,2497	3	11	9	3	0	0,0239

Tabla 14: Número de capas para cada una de las partes. Editado con Excel.

El siguiente paso a seguir es el cálculo del peso o el gramaje de todas las capas, conseguido mediante la fórmula:

$$\text{Peso de cada capa} = \text{Área} * \text{número de capas} * \text{densidad de material}$$

Si se aplica esta fórmula a todos las partes de la embarcación para dicho cálculo se obtiene:

	Gramaje por capas					
	Área	A	B	C	D	H
Monolítico						
Costado	20,6194	6185,8	55672	41239	6186	0
Fondo	51,9235	15577	2E+05	2E+05	15577	0
Verticales						
Bañera	3,8395	1151,9	6911	3840	1152	0
Caseta	7,8244	2347,3	14084	7824	2347	0
Mamparos	18,6631	5598,9	58789	46658	11198	0
Horizontales						
Bañera	6,7072	2012,2	9055	0	4024	6389
Techo	14,7707	4431,2	19940	0	8862	14069
cubierta	17,9389	5381,7	24218	0	10763	17087
Espejo						
Espejo	4,2497	3824,7	21036	19124	1275	0

Tabla 15: Gramaje del total de cada una de las capas para cada parte. Editado con Excel.

Agrupando los pesos de cada capa por pesos y separando en obra viva y muerta:

	Gramaje total						
	Área	Peso total de A	Peso total de B	Peso total de C	Peso total de D	Peso total de H	Velo
Obra viva							
Monolítico	72,5429	21762,87	242596,98	197009,3	21762,87	0	2176,3
Mamparos	18,6631	5598,93	58788,765	46657,75	11197,86	0	559,89
Espejo	4,2497	3824,73	21036,015	19123,65	1274,91	0	127,49
Obra muerta							
Verticales	11,6639	3499,17	20995,02	11663,9	3499,17	0	349,92
Horizontales	39,4168	11825,04	53212,68	0	23650,08	37544,502	1182,5
Total							
Obra viva	95,4557	31186,53	322421,76	262790,7	34235,64	0	2863,7
Obra muerta	51,0807	15324,21	74207,7	11663,9	27149,25	37544,502	1532,4
Peso total	146,5364	46510,74	396629,46	274454,6	61384,89	37544,502	4396,1

Tabla 16: Gramaje total de cada una de las capas. Editado con Excel.

El adhesivo solamente se utiliza para unir la madera de balsa a la fibra de vidrio, por lo que se utiliza únicamente en la cubierta, el techo y el suelo de la bañera:

	Área	H	Capas de Adhesivo	Peso Adhesivo (g)
Monolítico				
Costado	20,6194	0	0	0
Fondo	51,9235	0	0	0
Verticales				
Bañera	3,8395	0	0	0
Caseta	7,8244	0	0	0
Mamparos	18,6631	0	0	0
Horizontales				
Bañera	6,7072	1	2	52316,16
Techo	14,7707	1	2	115211,46
cubierta	17,9389	1	2	139923,42
Espejo				
Espejo	4,2497	0	0	0
Total				307451,04

Tabla 17: Peso total del adhesivo a utilizar. Editado con Excel.

Se obtiene el peso del Gelcoat multiplicando el área de cada parte por su densidad y espesor:

	Área	Gelcoat	Velo
Monolítico			
Costado	20,6194	14845,968	618,582
Fondo	51,9235	37384,92	1557,705
Verticales			
Bañera	3,8395	2764,44	115,185
Caseta	7,8244	5633,568	234,732
Mamparos	18,6631	13437,432	559,893
Horizontales			
Bañera	6,7072	4829,184	201,216
Techo	14,7707	10634,904	443,121
cubierta	17,9389	12916,008	538,167
Espejo			
Espejo	4,2497	3059,784	127,491
Total	146,5364	105506,208	4396,092

Tabla 18: Peso total del Gelcoat y el velo a utilizar. Editado con Excel.

Sólo falta saber la cantidad de resina y el catalizador a utilizar en kilogramos. Se consigue mediante las siguientes fórmulas:

$$R_{resina} = \frac{A + B}{A + B + C + D}$$

Donde A, B, C y D son los pesos totales de cada uno del material.

$$Y = 0.46 - 0.18 * R_{resina}$$

$$Gramos\ resina = \frac{A + B + C + D + Velo}{Y} - (A + B + C + D + Velo)$$

Se obtiene:

Gramaje resina laminado			
	R resina	Y	Gramos resina
Total Obra viva	0,543482123	0,36217322	1150882,224
Total Obra Muerta	0,697587504	0,33443425	258472,3404
Total			1409354,564

Tabla 19: Gramaje total de la resina necesaria para el laminado. Editado con Excel.

El peso del catalizador es el 1,5% de la resina total:

$$Peso\ Catalizador = 1409354,564 * 0.015 = 21140,3184\ gramos$$

Por lo tanto, el peso total del laminado del casco y de la superestructura es de 2664,37 kilogramos.

Se sigue el mismo método para los refuerzos, la quilla y la roda pero se ha decidido que se realizan los cálculos de los refuerzos por separado de la quilla y la roda, ya que están compuestos por muchas menos capas de material.

La secuencia de laminado de los refuerzos está representada en la tabla 20:

Secuencia de laminado	Espesor
A	0,00813
B	
D	
B	
C	
B	
C	
B	
C	
C	

Tabla 20: Secuencia de laminado para los refuerzos. Editado con Excel.

Se obtiene solamente un espesor, que es el definido en el apartado anterior. A partir de ello, se procede al cálculo del área, gramaje de cada capa y el total, la resina a utilizar y el catalizador:

	Longitud	Ancho			Espesor
		Plancha superior	Planchas laterales	Planchas laterales inferiores	
longitudinales de fondo	44,7	0,085	0,065	0,1422	0,008
Costado	26,44	0,085	0,065	0,1008	0,008
Esloras de cubierta	41,4	0,085	0,065	0,099	0,008
Transversales de cubierta	60,42	0,085	0,065	0,099	0,008
Mamparos	35,09	0,085	0,065	0,1233	0,008
transversales	95,29	0,085	0,065	0,1422	0,008
Longitud total	303,34				

Tabla 21: Longitud, ancho y espesor de cada una de las partes de los refuerzos. Editado con Excel.

	Area		
	Plancha superior	Planchas laterales	Planchas laterales inferiores
longitudinales de fondo	3,7995	2,9055	6,35634
Costado	2,2474	1,7186	2,665152
Esloras de cubierta	3,519	2,691	4,0986
Transversales de cubierta	5,1357	3,9273	5,98158
Mamparos	2,98265	2,28085	4,326597
transversales	8,09965	6,19385	13,550238
Area total	82,479507		

Tabla 22: Área de cada una de las planchas de los refuerzos. Editado con Excel.

	Area	A	B	C	D	Velo
Capas	82,479507	1	4	3	1	
Gramaje	82,479507	24743,852	148463,113	123719,261	24743,852	2474,385
Gramaje total	321670,0773					

Tabla 23: Número de capas y gramaje de cada material y total. Editado con Excel.

Gramaje resina refuerzos			
	R resina	Y	Gramos resina
Total	0,53846154	0,363076923	568626,3029

Tabla 24: Gramos de resina necesarios para laminar los refuerzos. Editado con Excel.

$$\text{Peso Catalizador} = 568626,3209 * 0.015 = 8529,3945 \text{ gramos}$$

El peso total de los refuerzos será de 901,3 kilogramos.

Se sigue el mismo proceso para la roda y la quilla:

[illegible]

Tabla 25: Dimensiones y secuencia de laminado para la roda y la quilla. Editado con Excel.

Número de capas					
A	B	C	D	H	Espesor
2	16	13	2	0	0,03146

Tabla 26: Número de capas y espesor para la roda y la quilla. Editado con Excel.

	Gramaje							
	Área	A	B	C	D	H	Velo	Gelcoat
Roda y quilla	1,24967	749,802	8997,624	8122,86	749,802	0	37,4901	899,7624

Tabla 27: Gramaje de cada material, velo y Gelcoat. Editado con Excel.

Gramaje resina			
	R resina	Y	Gramos resina
Total	0,52349	0,365772	32351,20473

Tabla 28: Gramos de resina necesarios para laminar la roda y la quilla. Editado con Excel.

$$\text{Peso Catalizador} = 32351,20473 * 0.015 = 485,268 \text{ gramos}$$

Se obtiene un peso total de la roda y la quilla de 52,3938 kilogramos.

Para finalizar, se resumen todos los pesos en la siguiente tabla:

Pesos	
Peso Laminado	2664,37
Peso Refuerzos	901,3001599
Peso Roda y quilla	52,3938083
Total	3618,07

Tabla 29: Pesos desglosados por partes y total de la embarcación. Editado con Excel.

Sumándolos, se obtiene un peso total de la embarcación de 3618,07 kilogramos. Es decir: 3,618 toneladas.

Se realiza un presupuesto de los materiales para la embarcación, para tener una idea aproximada de lo que costaría la fabricación del laminado y los refuerzos de la embarcación.

Se parte de los siguientes precios:

TEJIDOS ROVING (WR) / CHOPPED STRAND MAT (CMS) / COMBI WR+M / VELO			
		€/Kg palet	€/Kg pieza
WR500	Tejido roving 500gr/m2		
WR800	Tejido roving 800gr/m3		
MAT100	MAT emulsión 100gr		
MAT300	MAT emulsión 300gr	2,24	2,49
MAT450	MAT emulsión 450gr	2,24	2,49
MAT600	MAT emulsión 600gr		
WR500M300	Combi Tejido Roving 500gr/m2 con Mat 300gr/m2	2,06	2,50
VELOC30	Veilo de superficie vidio C 30gr. Rollos de 50mt.	0,47	0,55

Tabla 30: Catálogo de precios de tejidos Mat y Roving. Fuente: MEL composites

Madera de Balsa 150 Flexible (GS-Scrim)							
Cajas de		m2/caja	Espesor		Precios		Pedido mínimo
			mm	pulgadas	Precio €/caja	Precio €/m2	
*	paneles	*	6,35	1/4"	N/A	N/A	n/a
35	paneles	26,05	9,52	3/8"	499,14	19,16	1 caja
26	paneles	19,35	12,7	1/2"	478,25	24,72	1 caja
21	paneles	15,63	15,87	5/8"	435,06	27,87	1 caja
17	paneles	12,65	19,05	3/4"	380,84	30,10	1 caja
13	paneles	9,67	25,4	1"	385,17	39,87	1 caja
10	paneles	7,44	31,8	1 1/4"	N/A	N/A	n/a

Tabla 31: Catálogo de precios de Madera de Balsa 150. Fuente: MEL composites

RESINAS POLIESTER Y VINILESTER					
REFERENCIA	APLICACION	Precio €/Kg			Tipo
		IBC	Bidon 220Kg	Bidon 30Kg	
HA184TPR	LAMINACION MANUAL	2,39	2,52	3,27	ORTO
HN734TA	LAMINACION MANUAL	2,73	2,88	3,75	ORTO-DCPD
HN380TA20	LAMINACION MANUAL	2,83	2,98	3,63	ISO
HN800TA31	LAMINACION MANUAL - SKIN COAT - MOLDES	4,06	4,14	5,43	VINILESTER
HQ102A60	INFUSION / RTM	2,52	2,64	3,43	ORTO
HQ306A45	INFUSION / RTM	2,83	2,98	3,63	ISO
HQ800A45	INFUSION / RTM	3,93	4,03	5,27	VINILESTER
H02E9106PZ	GEL COAT Blanco			5,83	ISO
H08E9106PZ	GEL COAT Blanco (consultar colores disponibles)			6,16	ISO-NPG
H07E9106SZ	FIRECARE SYSTEM-ALOGEN FREE			6,62	IGNIFUGO
R918A000G40	LAMINACION MANUAL MOLODES - CONTRACCIÓN 0		5,02	5,97	DCPD
H09	GEL COAT PARA MOLDES NEGRO. Disponible en Verde y Naranja; consultar precio			6,94	
R919A0000G15	FIRECARE ONE-ALOGEN FREE	Precio bajo consulta			IGNIFUGA M1-F1
R921A0000G15	ALOGEN FREE	Precio bajo consulta			IGNIFUGA M2-F0
R930A	FIRECARE SYSTEM - ALOGEN FREE	4,33	4,79	6,86	IGNIFUGA M1-F1
		Bidon 150Kg	Bidon 25Kg	Bidon 5Kg	
CETONE	Acetona	1,84	2,11	3,22	
		Bidon 25Kg	Bidon 5Kg	Bidon 1Kg	
CR4132.05	Parafina en lata de 5Kg		7,17		
MEKP-9	Peroxido de Metil Etil Cetona. MEKP-9	5,95	8,33	16,65	
		Bidon 25Kg	>100Kg en bidon 25Kg		
m01c57	Masilla poliester con fibra pasra cantos y rellenos	3,92	3,64		

Normalmente en stock en MEL

Tabla 32: Catálogo de precios de Resinas de Poliéster y Viniléster. Fuente: MEL composites

	
Roving de 300 (en rollo de 50 kg)	Roving de 500 (en rollo de 55 kg)
141,50 €	144,10 €

Figura 17: Catálogo de precios de Roving 300 y 500. Fuente: Plastiform

Como en el proceso de laminado siempre hay una parte de merma de material, se multiplican todas las cantidades por 1,15, ya que se calcula que hay un 15% de perdida.

En la tabla 33, se representa el presupuesto desglosado en los distintos materiales:

	Área total (m2) solo H	Peso (kg)	Peso con merma (kg)	Presupuesto (euros)
Total A		72,00	82,81	185,48
Total B		405,63	466,47	1044,90
Total C		398,17	457,90	1199,70
Total D		86,88	99,91	282,75
Total H	39,42	37,54	43,18	827,26
Total Velo		6,91	7,94	3,73
Total Gelcoat		106,41	122,37	629,68
Total Resina Isoftálica		1751,86	2014,64	246,84
Total Resina Ortoftálica		258,47	297,24	34,30
Total Adhesivo		307,45	353,57	3295,26
Total Catalizador		30,15	34,68	701,89
Total				8451,77

Tabla 33: Presupuesto de la laminación de la embarcación. Editado con Excel.

Tiene un coste total de laminado de 8451.77 euros.

Laminado de la roda y la quilla

Para el laminado de la roda y la quilla se aprovechará el laminado de fondo. Se hará un solape de láminas en el eje de crujía, consiguiendo el doble de espesor para toda la zona. En la figura 18 se ve una representación gráfica de cómo quedaría:

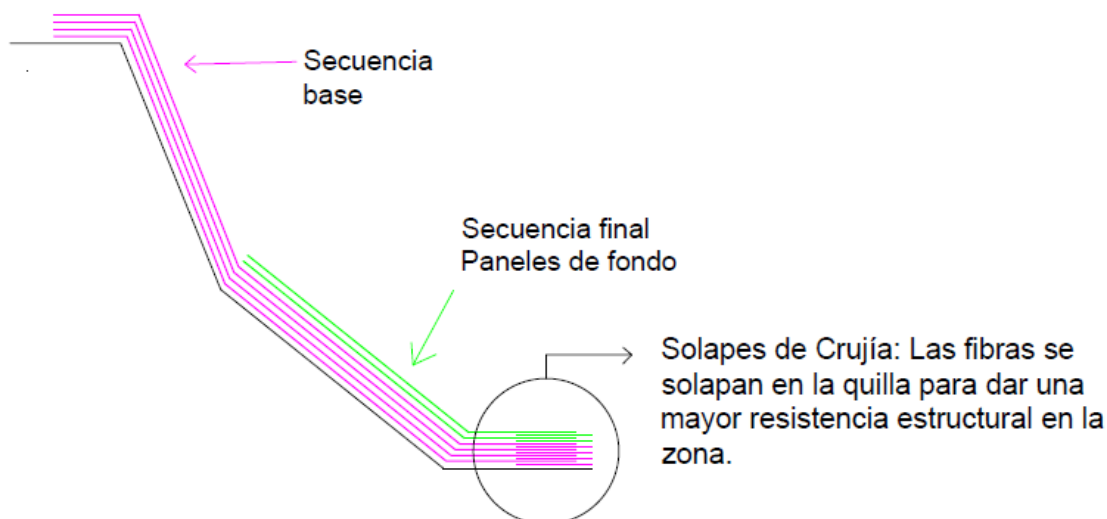


Figura 18: Esquema de laminado por solape de la quilla y la roda. Editado con Autocad.

Proceso de laminación

Se laminará la embarcación mediante el método de infusión, que funciona con un proceso de vacío. Primero se debe encerar el molde y luego poner una capa de gelcoat con el espesor definido previamente en los cálculos. Después de disponer las láminas de fibra con la secuencia de laminado correspondiente a cada parte. Dichas fibras deben estar totalmente secas, para que la resina pueda expandirse perfectamente por ellas sin ningún tipo de agente que las contamine. A estas láminas hay que añadirles el velo y el adhesivo en caso de que la zona a laminar lleve madera de balsa.



Figura 19: Disposición de las láminas de fibra de vidrio. Fuente: propia.

El siguiente paso es el de la colocación de los tubos por donde la resina entrará a la zona de laminación y los de salida del aire. Estos últimos serán los responsables del efecto de vacío que se producirá en la zona. Es muy importante añadir un recipiente entre la salida de aire y el generador de vacío, ya que, si se añade demasiada resina, el tubo de extracción de aire también portará resina y esta puede entrar en el generador causando efectos fatales.

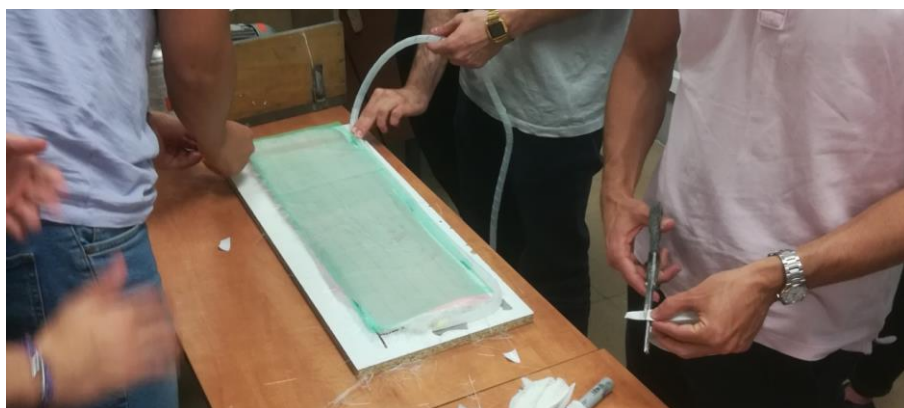


Figura 20: Disposición de tubo de extracción de aire. Fuente: propia.

También es importante añadir que los tubos deben ser resistentes a los químicos de la resina y a la presión inducida por el vacío, ya que si no es así se cortará el flujo.

Los puntos por donde la resina irá entrando al lamiado son estratégicos para que todas las partes de la pieza se empapen por igual.

Antes de impregnar las fibras, hay que añadir la cantidad de catalizador calculado en el apartado anterior, para que la resina se endurezca.

Cuando se ha terminado la disposición de las fibras y los tubos de entrada y salida, se debe poner la bolsa de vacío, sellada a consciencia por todos sus extremos para que no haya ninguna fuga de resina o aire, asegurando así un correcto vacío.



Figura 21: Proceso de sellado de la zona a laminar. Fuente: propia.

Una vez está bien sellado, se procede a hacer el vacío mediante el generador. La bolsa se va adhiriendo a las fibras y la resina empieza a entrar en las fibras, expandiéndose poco a poco.

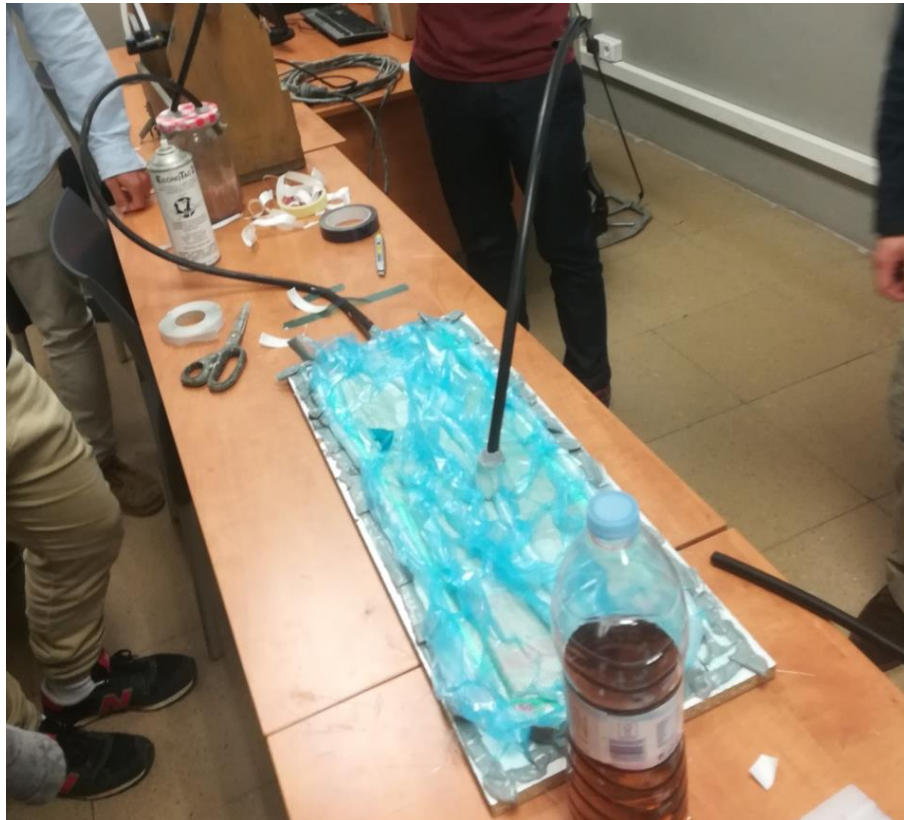


Figura 22: Generación de vacío de la zona a laminar. Fuente: propia.

Cuando el proceso ha terminado, se retira todo el material usado y quedan solamente los materiales y la resina fusionados en el laminado final. El último paso es desmoldar el laminado.



Figura 23: Laminado finalizado. Fuente: propia.

3.2.4 Diseño 3D

En este apartado se detallará el proceso del diseño 3D de la embarcación. Se parte del casco que ya se ha parametrizado con el programa Maxsurf y que, por lo tanto, tiene las medidas correctas.

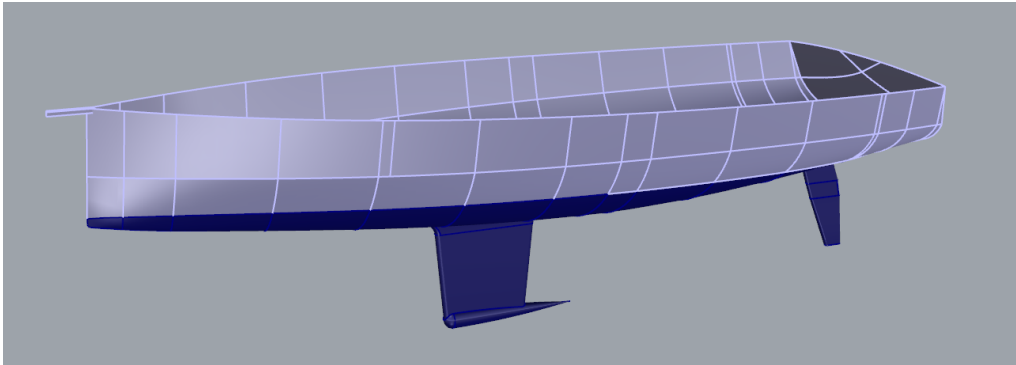


Figura 24: Casco de la embarcación definitivo. Editado con Rhinoceros

El siguiente paso es dibujar la cubierta y la bañera. La altura de las estancias debe ser suficiente para que una persona de estatura 1,90 metros pueda habitar en ella con total comodidad, por lo que se ha procurado que la altura en la estancia principal sea de 2,06 metros aproximadamente.

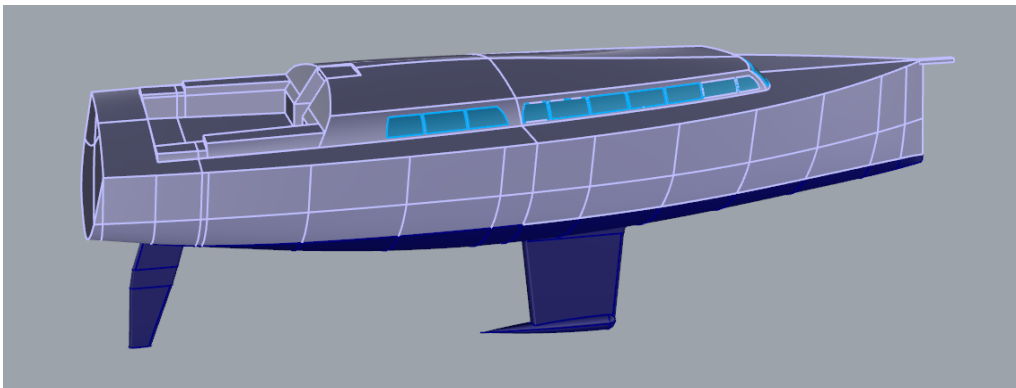


Figura 25: Vista del Casco y cubierta definitivos. Editado con Rhinoceros

Una vez se ha hecho la cubierta, se deben hacer los refuerzos transversales, longitudinales y mamparos (los mamparos son los de color azul claro y los refuerzos transversales son los de color negro).

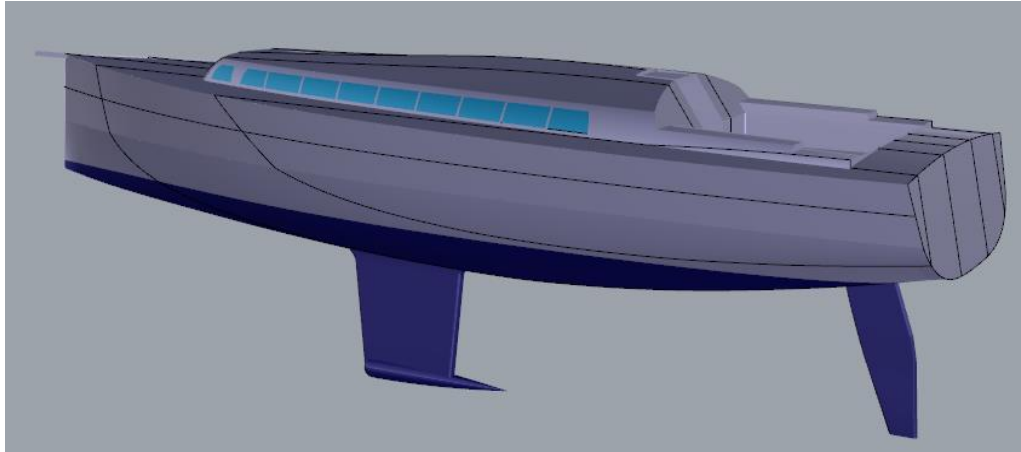


Figura 26: Representación de refuerzos longitudinales en el casco. Editado con Rhinoceros

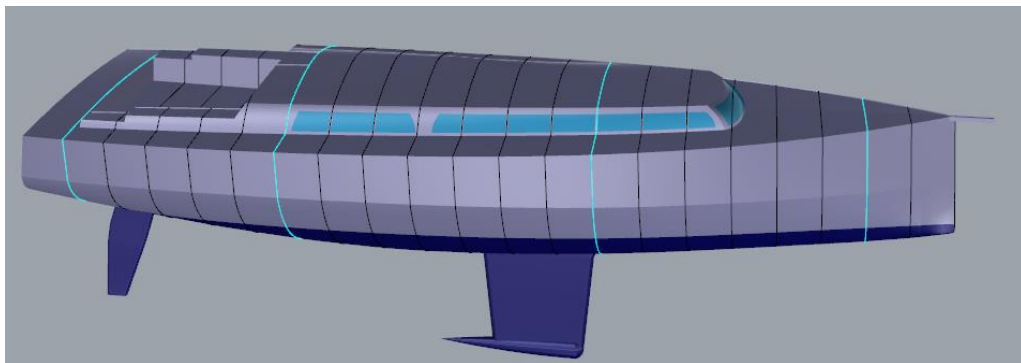


Figura 27: Representación de refuerzos Transversales y mamparos sobre el casco. Editado con Rhinoceros

Una vez se han dispuesto todos los refuerzos, se procede a hacer los dobles fondos y el mástil de la vela, con la fognadura en la quilla.

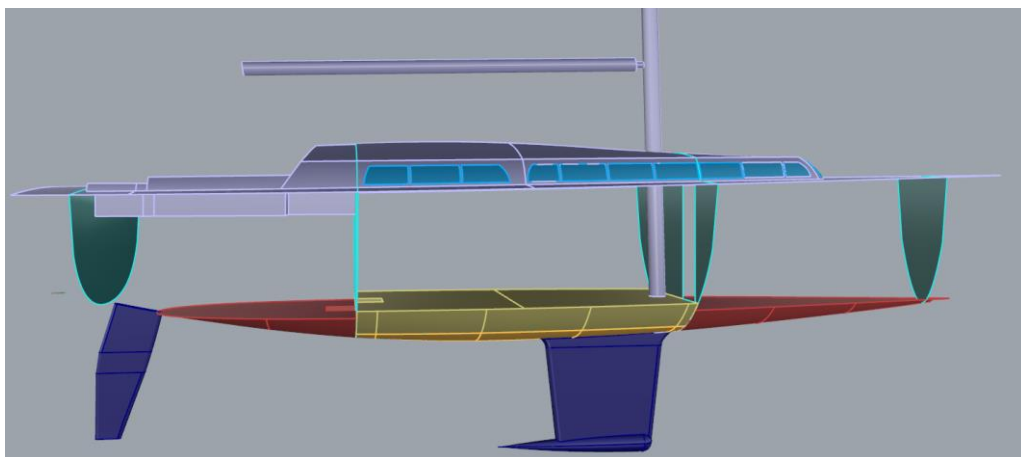


Figura 28: Vista de Mamparos, cubierta, dobles fondos y mástil. Editado con Rhinoceros

Finamente, solo queda la habitabilidad, el motor, los tanques, las baterías, las ventanas del casco, la hélice y el arbotante. Se pueden ver estos componentes en las siguientes imágenes:

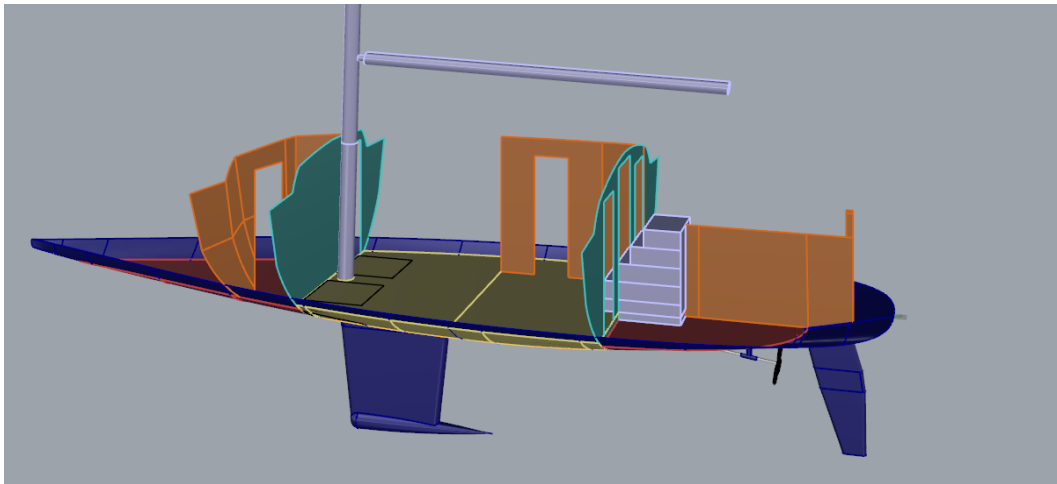


Figura 29: Vista de Mamparos y paredes de lavabos y camarotes. Editado con Rhinoceros

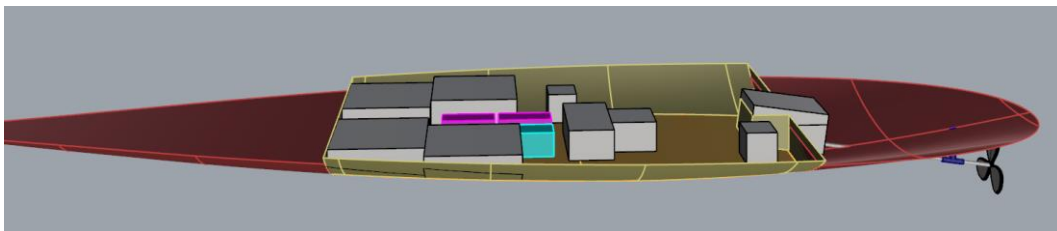


Figura 30: Disposición de elementos principales de equipos y sistemas en doble fondo. Editado con Rhinoceros

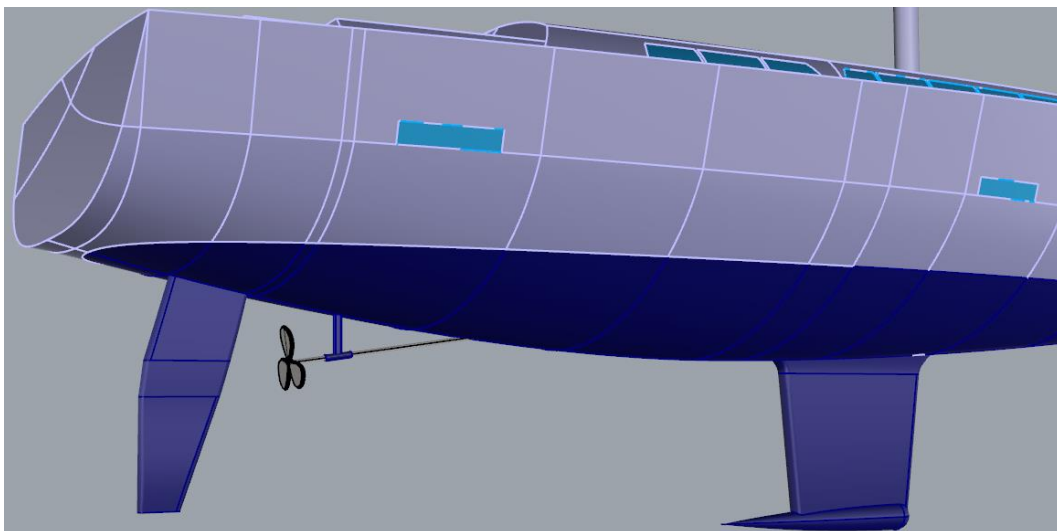


Figura 31: vista del fondo de la embarcación. Editado con Rhinoceros

2.3 Condiciones de Navegación

Se pretende acondicionar el velero para poder navegar por todo el mediterráneo, siempre a una distancia prudente de la costa, permitiendo que, ante cualquier fallo de algún sistema o suministro, se pueda llegar a tierra de la manera más breve posible.

Aun y ser el viento la fuente de propulsión principal, se deben contemplar todos los casos más desfavorables. Es decir, si hay un temporal o ausencia total de viento, la embarcación debe tener una autonomía de combustible suficiente para poder terminar la travesía o, en casos extremos, llegar al puerto más cercano.

Para ello se diseña una posible ruta de alta duración entre puertos por la costa norte del Mediterráneo para poder simular un caso real en que sacar los datos. La ruta se traza combinando puertos populares y trayectos de poca, media y alta duración, para cubrir todo el espectro de autonomías. En este caso, desde Barcelona hasta la isla de Chipre conteniendo las escalas marcadas en la figura 32:

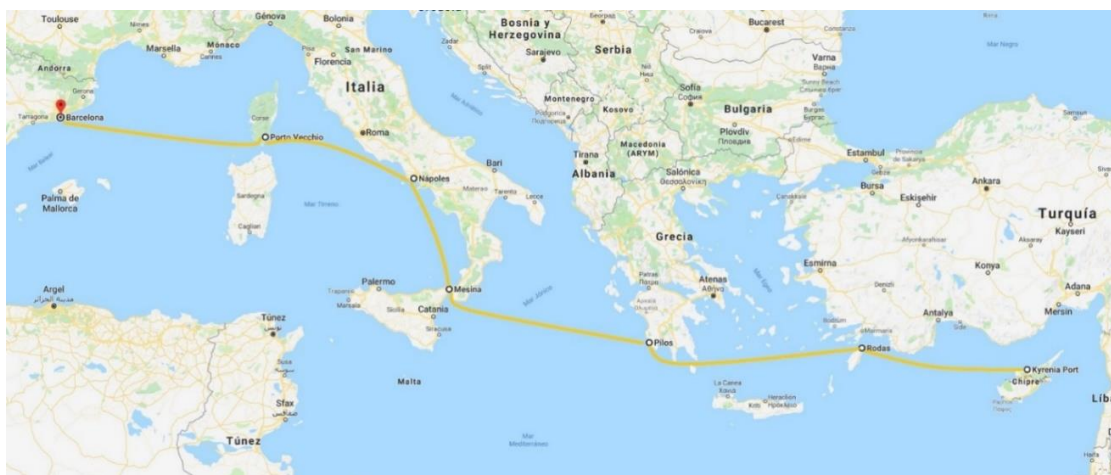


Figura 32 Vista de la trayectoria de diseño. Fuente: Google Maps

- Barcelona – Porto Vecchio (650 km) (350 mn)
- Porto Vecchio - Nápoles (470 km) (254 mn)
- Nápoles- Mesina (336 km) (181 mn)
- Mesina – Pílos (550 km) (297 mn)
- Pílos- Rodas (1.190 km) (643 mn)
- Rodas- Chipre (410 km) (221, mn)
- Total: 3.606 km, 1945 millas náuticas

La ruta marcada y cualquier otra ruta que realizará la embarcación, siempre será a una distancia máxima de 25 millas náuticas de la costa y el tiempo máximo de viaje de 72 horas. De esta manera se establece la categoría de diseño en B y zona de navegación 3.

Se determina una autonomía a motor de 350 millas náuticas, que permite prácticamente realizar todas las travesías y a su vez permite volver a puerto encontrándose el Maxriter en cualquier punto de la ruta.

Por otro lado, se debe realizar un estudio histórico de las zonas de navegación para encontrar las alturas de ola y fuerza de viento, datos de alta importancia en el diseño de la embarcación.

Oleaje

Como ya se ha comentado con anterioridad, el mar Mediterráneo es uno de los mares más idóneos para la navegación y más concretamente si nos referimos a oleaje. Se realizará un análisis del histórico de datos de olas en los últimos años para obtener una idea general de la altura media de olas en la ruta de diseño y analizar qué zonas son más conflictivas y con qué frecuencia encontramos temporales en los que no se podría navegar.

Para ello, usaremos la herramienta que nos ofrece puertos del estado y se cogerán una gran cantidad de días sueltos e aleatorios de todas las estaciones.

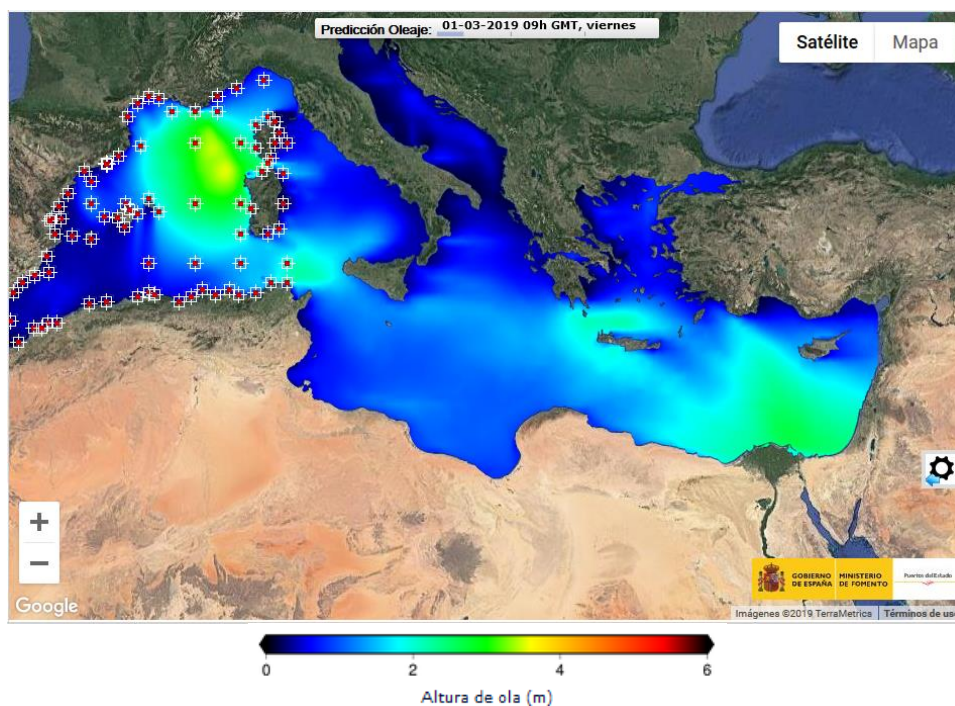


Figura 33: Muestra del estudio de alturas de ola en el mediterráneo. Fuente: Puertos del Estado

Se observa que la media de altura de ola en la zona de la ruta establecida alrededor de 1/1,5 m siendo el tramo más conflictivo el de Barcelona - Porto Vecchio. Se observa también que prácticamente siempre se puede navegar, exceptuando días muy concretos de temporal, o zonas en las que en determinadas ocasiones se debería modificar ligeramente el recorrido.

Viento

Una de las características del mar Mediterráneo es la frecuencia con la que el sentido del viento cambia, haciendo la navegación a vela en ocasiones impredecible. Este factor no se puede estimar y no es relevante para el diseño de la embarcación, tiene que ver más con la experiencia de navegación y no se puede evitar.

Por otro lado, se podrá medir la media de fuerzas de viento, que será de vital importancia para el desarrollo del sistema velico.

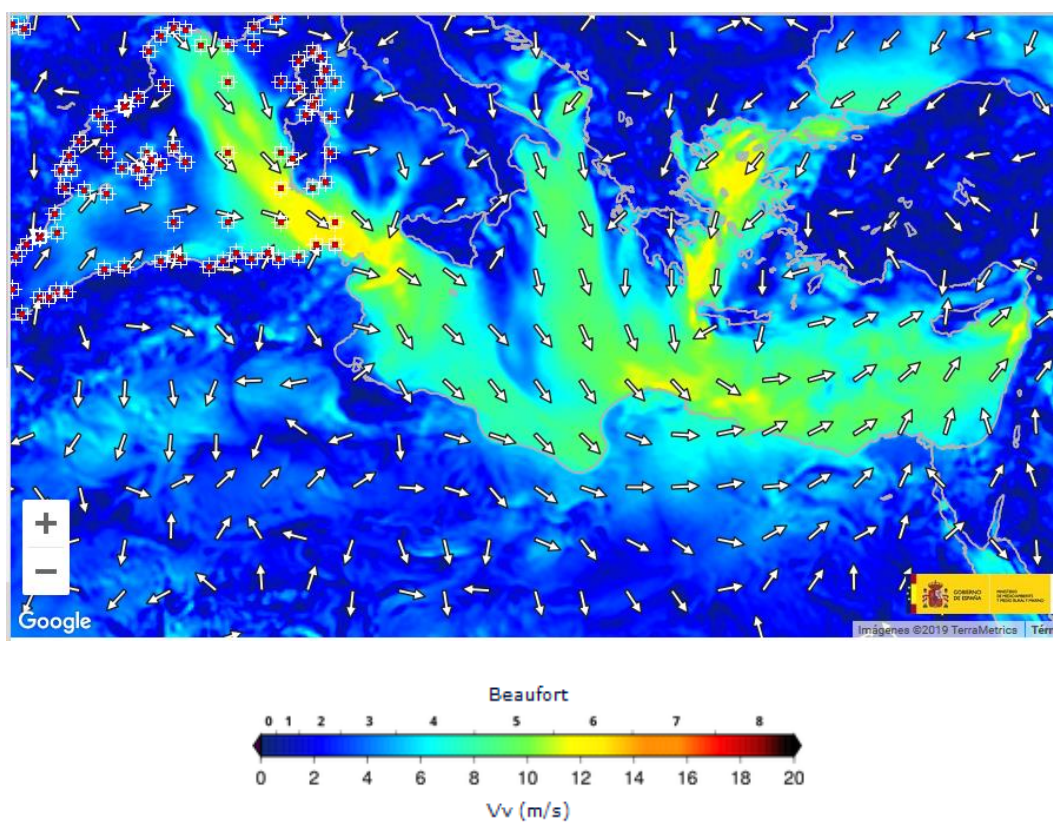


Figura 34: Muestra del estudio histórico de fuerza y sentido del viento en el mediterráneo. Fuente: Puertos del Estado

Del mismo modo que con el estudio de oleaje, se cogen muestras de varios días aleatorios en cada una de las estaciones del año y se establece una media aproximada de 5 en escala Beaufort (10m/s).

3. Estabilidad e Hidrodinámica

En este apartado y, con la ayuda de las vertientes de Maxsurf Stability y Resistance, se realizarán los cálculos y análisis de hidrostática e hidrodinámica. De esta manera se podrá conocer cómo se comporta la embarcación, tanto en navegación como parada. Así como la fuerza que necesita para moverse.

Se detallarán los pasos seguidos, así como referencias de los métodos y análisis utilizados.

3.1 Hidrodinámica

En este punto se estudiará el comportamiento del velero en movimiento en agua salada. El principal objetivo del cálculo hidrodinámico es obtener la resistencia que se opone al movimiento de la embarcación. Dicha resistencia va en función de la resistencia de fricción y la resistencia residual, siendo esta última la generada por las olas y su estela.

Actualmente, no hay un método exacto para calcular la resistencia al avance de una embarcación, pero existen diversos métodos experimentales que permiten obtener una muy precisa aproximación. Cada uno de estos métodos se aplica a una embarcación en función de su envergadura, forma o tipo de navegación.

3.1.1 Cálculo de Resistencia

La resistencia se calculará con el programa Resistance de Maxsurf.

Se importa el modelo parametrizado en el apartado 2.1.3 (1ª vuelta de la espiral de diseño) en Maxsurf Resistance y se introducen los parámetros requeridos para el cálculo de resistencia

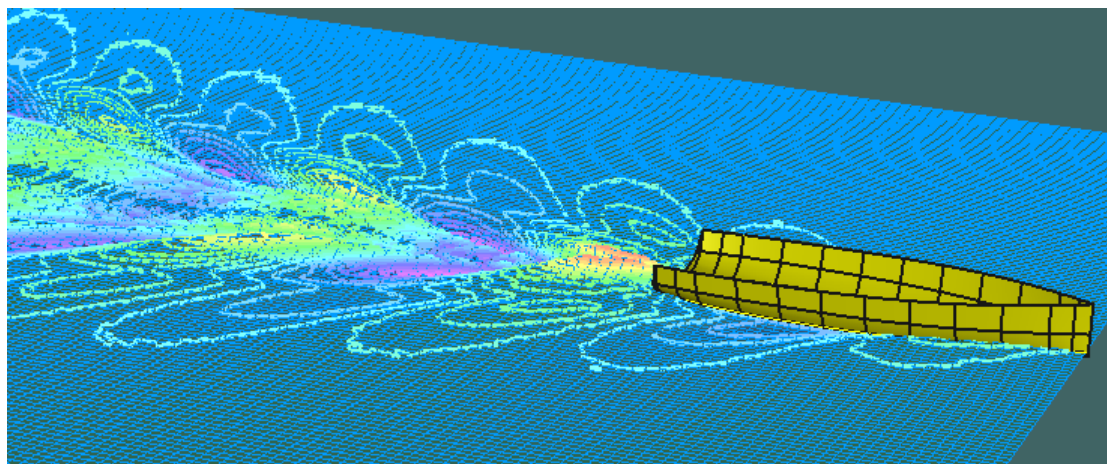


Figura 35: Análisis Hidrodinámico de la embarcación. Editado con Maxsurf

Viento

Una de las ocasiones en las que un velero navega a motor es aquella en la que no sopla viento o, en su defecto, el viento sopla de proa. Se asume esta última condición para realizar los cálculos por ser la más desfavorable. Basándonos en lo estudiado en el apartado 2.3, tomaremos una condición de viento real en contra de 10 kn más 8 kn de viento aparente y seguidamente se calcula el área frontal de la obra muerta, que será la que se verá afectada por el viento. Obtenemos la estimación siguiente:

Estructura	Area Frontal (m2)
Obra muerta casco	4,84
Superestructura	1
Mástil	3,9
Velas arriadas	1
Total	10,74

Tabla 34: Tabla de áreas transversales afectadas por el viento. Editado con Excel

Considerando la forma aerodinámica de la superestructura, obra muerta y mástil, el coeficiente de arrastre se tomará de 0,8.

Apéndices

A continuación, se añadirá la resistencia generada por los apéndices, en este caso la quilla y el timón. Para ello se medirá el área frontal que generan y la longitud media de ambos apéndices, además, se introducirá el factor de forma para ambos apéndices de 1,5.

Apéndice	Area Frontal (m2)	Longitud media
Timón	0,5	0,7
Quilla	0,5	1,5
Total	1	2,2

Tabla 35: Longitudes y Secciones transversales de apéndices. Editado con Excel

Método

Como inicialmente se desconoce en qué condición navegará el velero, se observarán 3 métodos distintos de cálculo de Resistencia, uno para cada condición: desplazamiento (Holtrop), pre planeo (Savitsky pre-planing) y planeo (Savitsky planing).

	Item	Value	Units
1	LWL	12,725	m
2	Beam	3,1	m
3	Draft	0,704	m
4	Displaced volume	10,294	m ³
5	Wetted area	31,9	m ²
6	Prismatic coeff. (Cp)	0,555	
7	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,717	
8	1/2 angle of entrance	15,2	deg.
9	LCG from midships(+ve for	5,648	m
10	Transom area	0	m ²
11	Transom wl beam	0	m
12	Transom draft	0	m
13	Max sectional area	1,459	m ²
14	Bulb transverse area	0	m ²
15	Bulb height from keel	0	m
16	Draft at FP	0	m
17	Deadrise at 50% LWL	19,4	deg.
18	Hard chine or Round bilge	Round bilge	
19			
20	Frontal Area	10,75	m ²
21	Headwind	18	kn
22	Drag Coefficient	0,8	
23	Air density	0,001	tonne/
24	Appendage Area	1	m ²
25	Nominal App. length	2,2	m
26	Appendage Factor	1,5	
27			
28	Correlation allow.	0,0004	
29	Kinematic viscosity	0,0000011	m ² /s
30	Water Density	1,026	tonne/

Figura 36: Datos principales de la embarcación. Editado con Maxsurf

Con los datos añadidos y tomando como fluido de estudio agua salada, se obtiene el gráfico de resistencia representado en la figura 37:

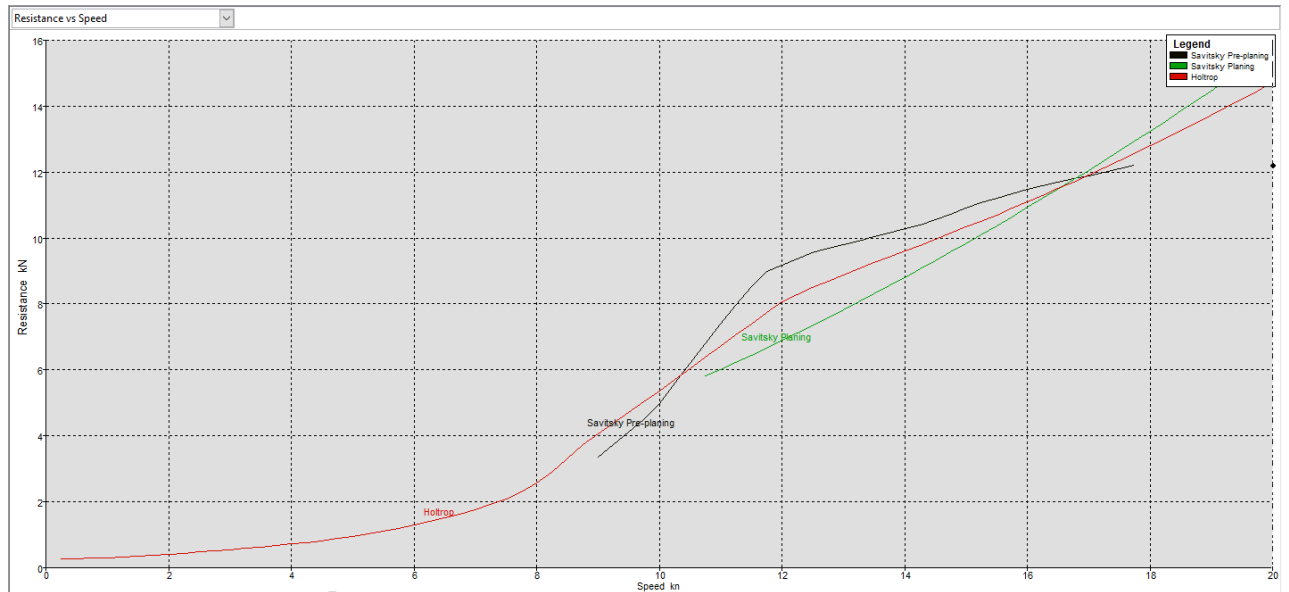


Figura 37: Valor de Resistencia en función de la velocidad de la embarcación. Editado con Maxsurf

Para la Velocidad de diseño establecida (8,5 Knts), podemos observar que los métodos de pre-planeo y planeo no generan datos de resistencia, lo que nos dice que el Maxriter a la velocidad de diseño se encuentra navegando en desplazamiento.

En caso de que la embarcación navegara un poco más rápido, podría entrar en navegación de pre planeo o incluso de planeo, pero en ese caso, la resistencia sería menor, así que descartaremos el uso de esos métodos para el cálculo.

El método que usaremos entonces será el Holtrop. Este método estima la resistencia al avance de una embarcación que navega en desplazamiento a partir de compararla con una inmensa base de datos de resistencias de todo tipo de embarcaciones, lo que lo hace uno de los métodos más usado.

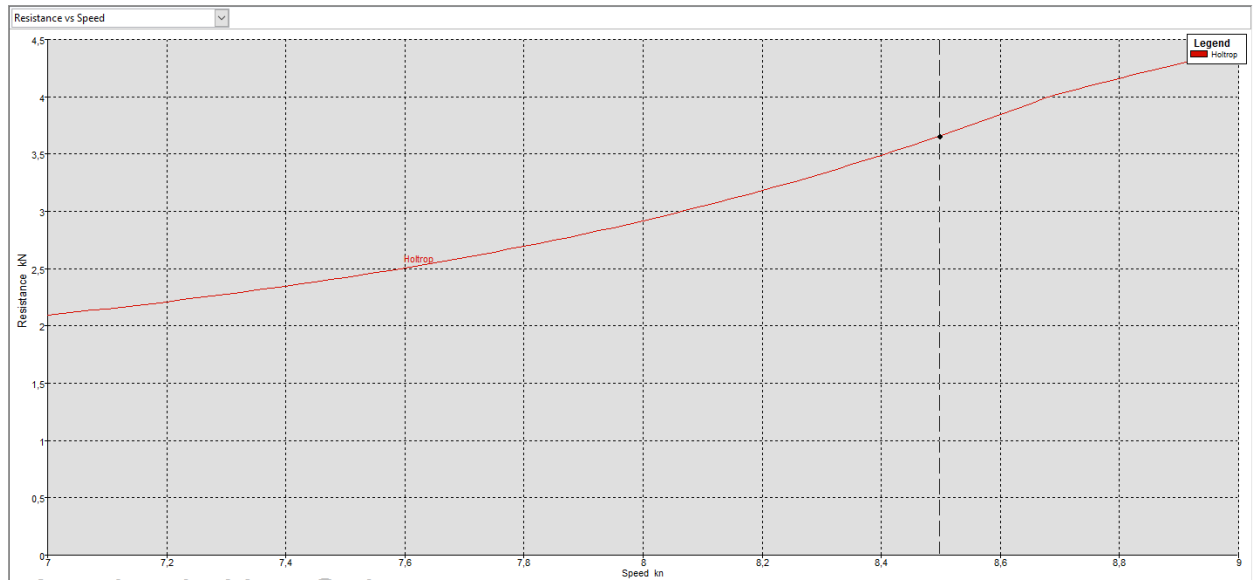


Figura 38: Vista ampliada de figura 37

Obtenemos un valor de resistencia de 3,66 kN

Potencia

Se realizará el cálculo de potencia siguiendo la siguiente fórmula:

$$P = \frac{R \cdot V}{\eta} = 40,3 \text{ kW};$$

Dónde:

- P es la Potencia requerida para la velocidad de diseño.
- R es la resistencia al avance calculada para la velocidad de diseño.
- V es la velocidad de diseño (8,5 kn), (4,4 m/s).
- η es la eficiencia general (40%)

3.2 Estabilidad

En este punto se estudiará la distribución de pesos de la embarcación y como afectan estos a su estabilidad en condición estática, es una de las últimas fases de diseño de la embarcación ya que requiere del conocimiento previo de todos los pesos (sistemas, casco, refuerzos y equipamientos). En este apartado también se obtendrá la aproximación final del desplazamiento de la embarcación dentro del alcance del proyecto.

El cálculo de estabilidad tiene los objetivos siguientes:

- Permitir la correcta distribución de los pesos de equipos y sistemas en la fase de diseño de la embarcación.
- Determinar el centro de gravedad global del velero.
- Determinar que en condiciones normales la embarcación se mantendrá adrizado tanto longitudinalmente como transversalmente.

3.2.1 Desplazamiento Final

Primeramente, se realizará un estudio de todos los conjuntos que conforman el peso total de la embarcación con su valor de peso exacto o una aproximación lo más exacta posible.

Cabe destacar que el plano velico y sus componentes, por no estar dentro del alcance de este proyecto, no se dispone del valor de peso exacto, y lo mismo sucede con todo el mobiliario y componente destinados a la habitabilidad. Por ello, se dará un valor de peso basado en otras embarcaciones con un pequeño sobredimensionado que permite obtener una mayor resistencia al avance y por lo tanto una mayor holgura en cuanto a la decisión del motor.

Se obtiene un valor de desplazamiento de 10,55 Toneladas. Es muy difícil estimar este valor con total exactitud ya que en los procesos finales de la construcción de la embarcación existen muchas variables que no se pueden contemplar en procesos anteriores. Se han buscado el mayor número de referencias posibles y se dará para el proyecto este valor como definitivo.

Se define la tabla 36:

	EQUIPO	PESO (kg)
Estructura	Casco estructural	2664
	Refuerzos estructurales	953
	Orza	140
Sist. Agua	Generador agua dulce	25
	Calentador de agua	15
	Mangueras, colectores, válvulas y filtros	40
	Tanques almacén agua	300
	Grupo bombeo agua dulce	15
	Equipo de achique	20
Equipos	Equipo de fondeo	250
	Equipo vario de navegación, seguridad y radiocomunicación	150
	Balsa salva-vidas	20
	Equipo contra incendio	20
	Equipo de uso doméstico	200
Habitabilidad	Mobiliario y sanitarios	1300
	Paredes y cubiertas	800
Propulsión	Motor e inversor	350
	Hélice y eje	300
	Equipo de dirección (timon, mecha...	200
	Tanques de combustible	260
	Mangueras, colectores, válvulas y filtros sistema combustible	100
Sistema eléc.	2 x Baterías de servicio	110
	Batería de arranque y molinete	45
	Cable eléctrico	20
Plano velico	Plano velico (aparejo, mastil y botabara)	1300
	Total	9597
	Sobredimensionado (10%)	10557

Tabla 36: Distribución de pesos de la embarcación. Editado con Excel

A partir de este punto y con el desplazamiento definitivo, se iniciará el último ciclo de la espiral de diseño.

3.2.2 Cálculo de estabilidad

Se parte de que todos los pesos que pueden comprometer la estabilidad del velero se disponen repartidos por igual en proa y popa o se disponen en el eje de quilla, por lo que la estabilidad transversal no se verá afectada. Este apartado se centrará entonces en la estabilidad longitudinal

Primeramente, se eligen los componentes que pueden comprometer la estabilidad y se desestiman los que no:

- Componentes de sistemas: Se desestiman la mayor parte de componentes de sistemas ya que su pequeño peso y distribución equitativa no tendrá prácticamente influencia.
- Habitabilidad: Se desestima también el peso de mobiliario, paredes y sanitarios ya que a pesar de que su peso tiene un alto impacto en el desplazamiento del velero, su peso es una aproximación y además se desconoce su distribución, por lo que se estimara como centro de gravedad de este, el mismo centro de gravedad que el de la embarcación final.

A continuación, se distribuyen los pesos cuya situación es relevante e invariable, que corresponderá al peso del casco, refuerzos, plano velico y equipo de fondeo, todas las distancias de CG se toman desde la perpendicular de popa.

Item Name	Peso	CG
Casco	2664	5,5
Refuerzos	953	5,5
Plano velico	1300	6
Equipo Fondeo	250	11,5

Tabla 37: Centro de gravedad de Casco, Refuerzos, plano vélico y equipo de fondeo. Editado con Excel

A partir de este punto mediante el programa Maxsurf Stability se realiza un caso de carga donde se introducen todos los pesos y tanques y se van realizando análisis de estabilidad longitudinal hasta encontrar una distribución en la que el barco se encuentre completamente adrizado.

El resultado se refleja en la tabla 38:

	Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m
1	Lightship	1	3,617	3,617			5,500
2	Comb 1	80%	0,174	0,139	0,184	0,147	6,646
3	Comb 2	80%	0,174	0,139	0,184	0,147	6,646
4	Water 1	80%	0,174	0,139	0,169	0,136	7,488
5	Water 2	80%	0,174	0,139	0,169	0,136	7,488
6	Motor e Invers	1	0,300	0,300			3,500
7	Orza	1	0,140	0,140			6,500
8	Baterias	1	0,150	0,150			4,500
9	Mobiliario y par	1	2,500	2,500			5,500
10	Equipo Fondeo	1	0,250	0,250			11,500
11	Plano vélico	1	1,300	1,300			6,000
12	Total Loadca			8,813	0,707	0,566	5,774
13	FS correction						
14	VCG fluid						

Tabla 38: Centro de gravedad de pesos relevantes de la embarcación. Editado con Maxsurf

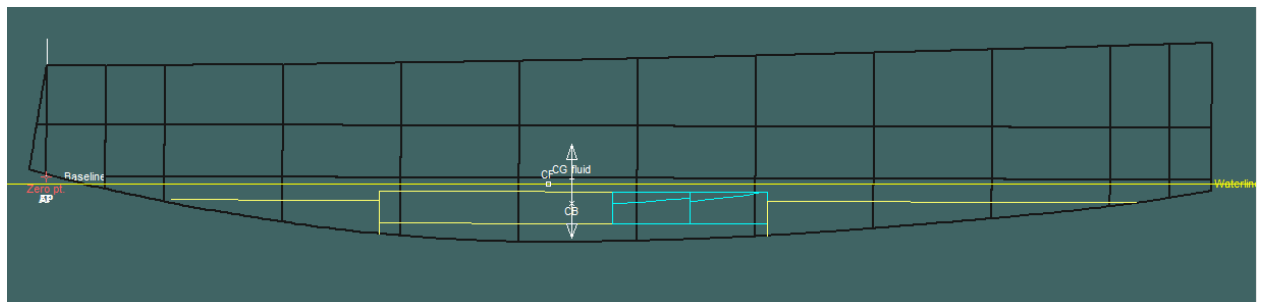


Figura 39: Análisis hidrostático de la embarcación con todos los pesos definidos. Editado con Maxsurf

El centro de gravedad del velero se encuentra en 5,774 m

4. Equipos

Iluminación

Según COLREG (Convenio sobre el Reglamento internacional para prevenir los abordajes), para embarcaciones a vela superiores a 12 metros, la embarcación debe llevar:

- 2 luces de costado
- 1 Luz de alcance
- 1 Luz de todo horizonte

Todas ellas se instalarán de 10 W.

Para estancias interiores, se usarán:

- 4 En cabina común (4W)
- 3 Luces en camarote de proa. (4W)
- 4 Luces en camarotes de popa (4W)

Para la iluminación nocturna de cubierta, se instalarán:

- 2 Luces en proa (6W)
- 2 Luces en popa (6W)



Figura 40: Luces de Costado combinadas de un velero. Fuente: Sotavento Online

Equipos de Radiocomunicaciones

Para la categoría de diseño y zona de navegación elegida, la embarcación llevará:

- Una instalación radioeléctrica VHF de 60 W
- Una radiobaliza de 406 MHz de activación automática y manual

Ambos equipos estarán homologados por la Dirección General de La Marina Mercante

Equipos de Salvamento y pirotecnia

El equipo de salvamento que dispondrá la embarcación es el siguiente:

- Una balsa salvavidas ISO 9650 Homologada por DGMM apta para zonas de navegación 2 y 3 que se encontrará bien sujeta y a rápida disposición de los tripulantes en cubierta, y no dispondrá de accionamiento automática.
- Un total de 6 chalecos salva-vidas SOLAS homologados por DGMM de 150N. Dos se dispondrán en el salón, dos en el camarote principal y otros dos en la bañera de popa.
- 2 Aros salva-vidas
- 6 Cohetes con luz roja y paracaídas
- 6 Bengalas de mano
- 1 señal fumígena flotante

Material náutico y Sanitario

Las embarcaciones de recreo, deberán disponer obligatoriamente del material náutico indicado en la siguiente tabla en función de la zona de navegación, siendo la zona 3 la referente al Maxriter:

Material	Zona de Navegación			
	1	2	3, 4	5, 6, 7
Compás	1	1	1	
Compás de marcaciones	1	1		
Corredera	1	1		
Sextante	1			
Cronómetro	1			
Compás de puntas	1	1		
Transportador	1	1		
Regla de 40 cm	1	1		
Prismáticos	1	1	1	
Cartas y libros náuticos	1	1	1	
Bocina de niebla	1	1	1	1
Barómetro	1	1		
Campana o similar	1	1	1	
Pabellón nacional	1	1	1	1
Código de banderas	1	1		
Linterna estanca	2	2	1	
Diario de navegación	1			
Espejo de señales	1	1	1	1
Reflector de radar	1	1	1	
Código de señales*	1	1	1	1

Tabla 39: Material de navegación requerido según zona de navegación. Fuente: Orden FOM/1144/2003. Editado por Jordi Torralbo, Profesor de F.N.B.

Además, se llevará a bordo:

- Una caña de timón de emergencia
- 2 estachas de amarre al muelle
- Un bichero
- Un Botiquín homologado de tipo C

Equipo de Fondeo

El Maxriter tiene un equipo de fondeo que se ubicará en un espacio dedicado en proa y constará de:

- Cadena de 8mm de diámetro y 25 m de longitud
- Ancla Danforth de 20 kg
- Molinete de 1200 W

Se estima el peso del conjunto de 250 Kg y tendrá una alta influencia en la estabilidad longitudinal de la embarcación por su alejada posición del centro de masas



Figura 41: Equipo de agarre de un velero. Fuente: Náutica y Yates

Equipo de Lucha y prevención Contra incendio

Con el objetivo de evitar un incendio a bordo se dispondrá de los siguientes equipos:

- Extintores portátiles: Se llevarán 2 extintores de Polvo de tipo 21 B y se colocarán en el camarote principal y uno en la zona de cubierta de popa, en zonas accesibles y alejados de las posibles fuentes de fuego
- Detectores de gas: Se dispondrán de 2 detectores de gas y 2 de humo en la cabina principal con señal luminosa y acústica, ya que es ahí donde se encuentran las posibles fuentes de fuego (cocina motor y baterías) Funcionarán con baterías propias internas, no se conectarán a la red eléctrica del velero.
- Balde contraincendios: Se llevará a bordo un único balde contraincendios exigido por normativa de 10 L de capacidad que se usará para extinguir fuego usando agua de mar en caso de emergencia.

Equipos de uso doméstico

Entre los equipos destinados o asociados al uso doméstico encontramos:

Destinados a tratamiento de alimento:

- Cocina de gas con 2 quemadores y 1,2 L de depósito con depósito extra
- Horno de gas
- Extractor de humos cocina de 60W
- 1 frigorífico de 100 W

Destinados al ocio:

- 2 Altavoces JBL de 60 W cada uno, uno para camarote de Proa y otro para estancia principal.
- 2 Televisores de 70 W cada uno, también uno para camarote de proa y otro para estancia principal.

Equipo de propulsión a vela

En este proyecto no se han realizado el estudio del equipo de propulsión a vela, ya que se considera que el proyecto tiene una gran extensión y dicho cálculo podría ser un proyecto en sí. Por otro lado, si se ha estimado su peso y, teniendo en cuenta la estabilidad de la embarcación y las características de la arboladura de otras embarcaciones similares, se ha establecido también la posición del mástil



Figura 42: Vista de mástil y botavara del velero. Editado con Rhinoceros

El mástil del velero de este proyecto irá apoyado en la quilla, atravesando la caseta de cubierta, la sala principal y los dobles fondos.

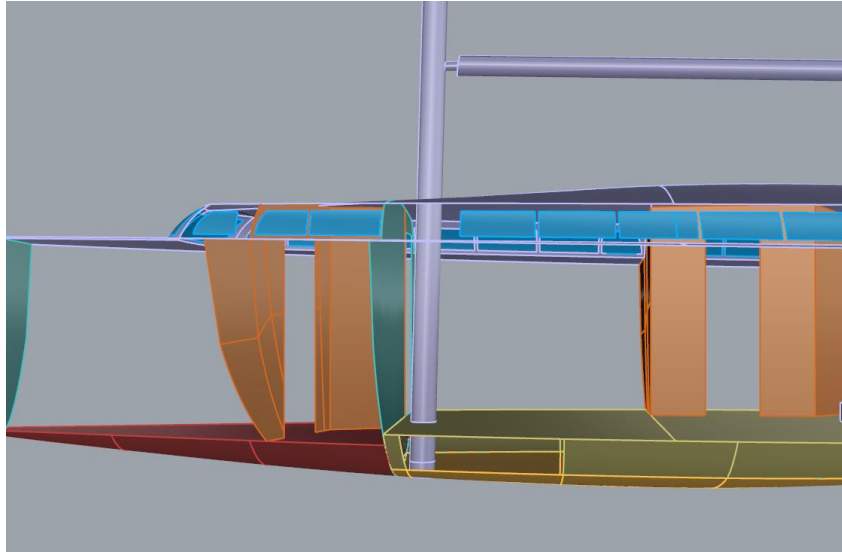


Figura 43: Vista de apoyo de mástil en quilla. Editado con Rhinoceros

5. Sistemas

5.1 Sistema Eléctrico

Se divide este sistema en dos partes:

- Sistema eléctrico de 12/24 Voltios
- Sistema eléctrico de 220 Voltios

El de 12/24 V será el que alimente todos los equipos que hayan sido instalados a bordo y que requieran este voltaje. Este es el principal, ya que el de 220 V servirá para todas las tomas de corriente o enchufes que se hayan instalado en la embarcación y se proporcionará la potencia necesaria mediante una toma de tierra en puerto.

El calentador de agua también irá alimentado con 230 voltios, por lo que se podrá utilizar solamente en puerto, con la toma de corriente. Cuando se esté navegando, el agua saldrá todo lo caliente que se pueda, aprovechando el agua calentada en el sistema de refrigeración del motor.

Sistema eléctrico de 12 Voltios

Se hará un balance eléctrico de todos los equipos que requieran este voltaje para poder obtener el valor de la carga total necesaria. Es un dato vital para poder saber la capacidad de las baterías requeridas para la embarcación.

Equipo	Número	Intensidad (A)	Voltios (V)	Potencia (W)	Horas	C (Ah)
Generador de agua dulce	1	10	12	120	2	20
Nevera	1	8,33	12	99,96	8	66,64
Extractor	1	5	12	60	1	5
Panel de control	1	6	12	72	4	24
Radar	1	4	12	48	4	16
Instrumentos de navegación	1	0,2	12	2,4	4	0,8
Radio	1	5	12	60	1	5
GPS	1	1	12	12	4	4
Luces interiores	10	0,33	12	39,6	3	9,9
Luces exteriores	4	0,5	12	24	2	4
Luces de navegación	4	0,83	12	39,84	4	13,28
Bomba achique	3	5	12	180	0,1	1,5
Molinete ancla	1	100	12	1200	1	100
Bomba de agua sanitaria	1	7,5	12	90	1	7,5
Enchufes	6	2	12	144	4	48
Bomba de vacío urinarios	1	7	12	84	0,1	0,7
Bomba evacuación aguas sucias	1	7,5	12	90	0,1	0,75
Total con molinete		170,19		2365,8		327,07
Total sin molinete		70,19		1165,8	43,3	227,07

Tabla 40: Balance Eléctrico de 12 Voltios de la embarcación. Editado con Excel

Se consiguen los amperios por hora de cada uno de los equipos mediante la multiplicación de las horas de servicio por los amperios.

Para obtener una mayor holgura en cuanto a capacidad, se multiplica el valor final por el factor de seguridad 1,5:

$$\text{Con molinete: } 327,07 * 1,5 = 490,605 \text{ Ah}$$

$$\text{Sin molinete: } 227,07 * 1,5 = 340,605 \text{ Ah}$$

Baterías de servicio

Dado que el molinete requiere un elevado amperaje por hora, éste se conectará a la batería de arranque, por lo que las baterías de servicio se escogerán en función del valor de 340,605 Ah.

Hay cuatro tipos principales de baterías para escoger:

- Baterías de plomo-ácido: Es una batería no estanca por lo que es muy importante mantenerla en posición vertical para evitar derrames. Hay que ir reponiendo el agua destilada cada cierto periodo de tiempo, por lo que requiere mantenimiento y, al desprender hidrógeno y oxígeno, puede ser peligroso si no se tienen bien ventiladas y trincadas. Al tener tantos contras, no se escogerá este tipo de batería para la embarcación.

- Baterías de placas de plomo-calcio: este tipo de baterías reducen el consumo de agua y no requieren mantenimiento al estar completamente selladas. Es una buena opción para la embarcación de este trabajo.
- Baterías de gel: el electrolito de estas baterías está en estado de gel, por lo que no es tan fácil que se produzca un derrame líquido. Preferiblemente, se escogerá otra batería para la embarcación.
- Baterías de electrolito absorbido: conocidas en inglés como *Absorbed Glass Mat* (AGM), son mucho más caras que las de plomo-ácido. El precio es debido a que no utilizan electrolito líquido, teniendo la ventaja de estar totalmente libres de mantenimiento. Al no haber peligro de derrames, se pueden poner en cualquier posición. Sería una batería perfecta para la embarcación.

Sea cual sea la batería escogida, esta debe ir trincada y estibada, con el fin de evitar desplazamientos durante la navegación. Para los casos específicos de baterías que puedan provocar derrames, deberán ir en cajas de polipropeno.

La vida útil de una batería es de aproximadamente unos 1500 ciclos de carga/descarga. Posteriormente esta empieza a aumentar su resistencia interna y se debe proceder a cambiarla.

Otro motivo para no escoger una batería de plomo—ácido es que, si esta no se recarga, pierde mensualmente un 15% de su capacidad. Si se compara con las de gel o las de AGM, estas se descargan entre un 1 y un 3%.

Se escogerá la batería o grupo de baterías a partir de la tabla 41, donde figuran los distintos tipos que hay:





	CODE	TECHNOLOGY			PERFORMANCES			DIMENSIONS			TECHNICAL CHARACTERISTICS				
		GEL	AGM Flat	AGM Orbital	Vh*	Capacity Ah (20h)	CCA A (EN)	L (mm)	W (mm)	H (mm)	Polarity	Terminal	Weight (kg)	Box	
 DUAL AGM	EP 450		●		450	50	750	260	173	206	1	Standard + Threaded	19	G34	●
	EP 900		●		900	100	720	330	173	240	9	Standard + Threaded	32	G31	●
	EP1200		●		1200	140	700	513	189	223	3	Standard	46	D04	●
	EP1500		●		1500	180	900	513	223	223	3	Standard	55	D05	●
	EP2100		●		2100	240	1200	518	279	240	3	Standard	72	D06	●
 DUAL	ER 350				350	80	510	260	175	225	1	Standard	19	D26	
	ER 450				450	95	650	310	175	225	1	Standard	23	D31	
	ER 550				550	115	760	350	175	235	1	Standard	29	D02	
	ER 650				650	142	850	350	175	290	1	Standard	35	D03	
 EQUIPMENT GEL	ES 290	●			290	25	—	165	175	125	0	Flat Lug (M5)	10	P24	●
	ES 450	●			450	40	—	210	175	175	0	Flat Lug (19)	15	LB1	●
	ES 650	●			650	56	—	278	175	190	0	Standard	21	L03	●
	ES 900	●			900	80	—	350	175	190	0	Standard	27	L05	●
	ES 950	●			950	85	—	350	175	235	1	Standard	30	D02	●
	ES1000-6	●			1000	190 (6V)	—	245	190	275	0	Standard	29	GC2	●
	ES1100-6	●			1100	200 (6V)	—	245	190	275	0	Threaded insert	32	GC2	●
	ES1200	●			1200	110	—	285	270	230	2	Standard	39	D07	●
	ES1300	●			1300	120	—	350	175	290	0	Standard	39	D03	●
	ES1350	●			1350	120	—	513	189	223	3	Standard	40	D04	●
	ES1600	●			1600	140	—	513	223	223	3	Standard	47	D05	●
 EQUIPMENT	ES2400	●			2400	210	—	518	279	240	3	Standard	67	D06	●
	ET 650				650	90	—	350	175	190	0	Standard	27	L05	
	ET 700-6				700	195 (6V)	—	245	190	275	0	Standard	30	GC2	
	ET 950				950	135	—	513	189	223	3	Standard	40	D04	
	ET1300				1300	180	—	513	223	223	3	Standard	50	D05	
	ET1600				1600	230	—	518	279	240	3	Standard	65	D06	

Tabla 41: Catálogo de Baterías eléctricas de servicio. Fuente: Exide Marine

Para esta embarcación se escogen 2 baterías Dual AGM EP1500 de electrolito absorbido. Cada una de ellas proporciona 180 Ah y en conjunto 360 Ah. Por lo tanto, son óptimas para el correcto funcionamiento del sistema.

El acoplamiento de las baterías a la embarcación puede ser en serie o en paralelo. Si se acoplan en serie, el voltaje del sistema es la suma del de cada una de las baterías, manteniendo los amperios por hora. Es decir que, si se conectaran las dos baterías en serie en la embarcación, se obtendría un voltaje total de 24 voltios y 180 Ah.

En cambio, si se conectan en paralelo, los voltajes se mantienen y se suman los dos amperajes por hora. Por lo tanto, si se conectan las dos baterías en paralelo, se obtiene un voltaje de 12 voltios y 360 Ah.

En conclusión, se conectarán las dos baterías en paralelo, ya que el objetivo de las dos baterías es alimentar 360 Ah a 12 voltios.

Es muy importante conectar dos baterías en paralelo que tengan un estado de carga igual o parecido, ya que si no se hace así puede llegar a ser peligroso. Por este motivo se han escogido dos modelos de baterías iguales.

Para cargar las baterías hay dos maneras:

- Conectando la embarcación a una toma de tierra cuando está en puerto. Esta toma de tierra proporciona 220 Voltios, cargando la batería mediante el cargador interno de la embarcación.
- Cuando no se está en puerto y se está navegando con el motor en marcha, el alternador de este está girando y produce la tensión y corriente necesarias dirigidas a la batería. Cuando las baterías no se están utilizando hay que evitar que se puedan descargar. Para ello, se deben disponer unos diodos separadores de carga conocidos como Schottky. Estos diodos permiten cargar varias baterías a la vez sin conectarlas entre ellas. Es decir que mientras una se descarga, la otra no lo hace. Esto es muy útil, ya que en la embarcación habrá dos baterías de servicio y una de arranque. Sería un desastre si mientras una de ellas se va descargando, las otras también lo hicieran.

Batería de arranque

El motor tiene un sistema de arranque que requiere 12 Voltios 2200 vatios. Por lo tanto, necesita $2200/12 = 183,33$ Amperios para arrancar.

También tendrá que poder suministrar los amperios por hora necesarios para poder usar el molinete. Este requiere 100 Ah pero, aplicando el factor de seguridad de 1,5, realmente son 150 Ah.

Por seguridad, se deben disponer dos baterías de arranque. Eso se debe a que, si una batería de arranque falla, haya otra para poder arrancar el motor.

Se escogerán las baterías a partir de la tabla 42:




	CODE	TECHNOLOGY			PERFORMANCES			DIMENSIONS			TECHNICAL CHARACTERISTICS				
		GEL	AGM Flat	AGM Orbital	MCA* A (BC)	Capacity Ah (20h)	CCA A (EN)	L (mm)	W (mm)	H (mm)	Polarity	Terminal	Weight (kg)	Box	
	EM 900			•	900	42	700	230	173	206	1	Standard + Threaded	16	G86	•
	EM1000			•	1000	50	800	260	173	206	1	Standard + Threaded	18	G34	•
	EM1100		•		1100	100	925	330	173	240	9	Standard + Threaded	33	G31	•
	EN 500				500	50	450	210	175	190	0	Standard	13	L01	
	EN 600				600	62	540	242	175	190	0	Standard	15	L02	
	EN 750				750	74	680	278	175	190	0	Standard	18	L03	
	EN 850				850	110	750	350	175	235	1	Standard	28	D02	
	EN 900				900	140	800	513	189	223	3	Standard	37	D04	
	EN1100				1100	180	1000	513	223	223	3	Standard	45	D05	
	EN1400				1400	225	1300	518	279	240	3	Standard	60	D06	

Tabla 42: Catálogo de Baterías eléctricas de arranque de motor. Fuente: Exide marine

La batería que tiene la capacidad necesaria para el molinete y una intensidad de arranque (MCA) óptima es la de START EN1100, con un MCA de 1100 Amperios y 180 Ah. Es ideal, ya que puede aportar la intensidad pico de sobras.

La segunda batería de arranque será igual que la primera, por lo tanto, la embarcación tendrá dos baterías de arranque START EN1100. Una para alimentar el molinete y el sistema de arranque y otra por si falla la principal.

Como medida de seguridad, en el momento en que se conecta el molinete, se desconectan las baterías de servicio para que los picos de corriente del molinete no las afecten, ya que hay una subida y bajada de corriente importante.

Se dará la opción también, en casos extremos, de conectar la batería de arranque (cuando no se esté usando) a las de servicio en paralelo, para aprovechar el amperaje.

Sistema eléctrico de 220 Voltios

En este sistema constarán el calentador de agua y los enchufes de la embarcación que suministren 220 voltios. En la siguiente tabla se muestran dichos equipos:

Equipo	Número	Intensidad (A)	Voltios (V)	Potencia (W)
220 Voltios				
Enchufes	4	15	230	3450
Calentador de agua	1	5	230	1150

Tabla 43: Balance eléctrico de 220 Voltios de la embarcación. Editado con Excel

La embarcación de este trabajo no lleva generador, por lo tanto, la alimentación de estos equipos deberá ser en puerto conectándose a la toma de tierra del pantalán. Cuando no se esté en puerto, no se podrán utilizar. Se han dispuesto en la embarcación varios enchufes de 12 voltios que se podrán utilizar para cargar los teléfonos móviles, los altavoces, etc.

En la figura 44 se dimensiona el funcionamiento del sistema eléctrico en lo que a componentes se refiere.

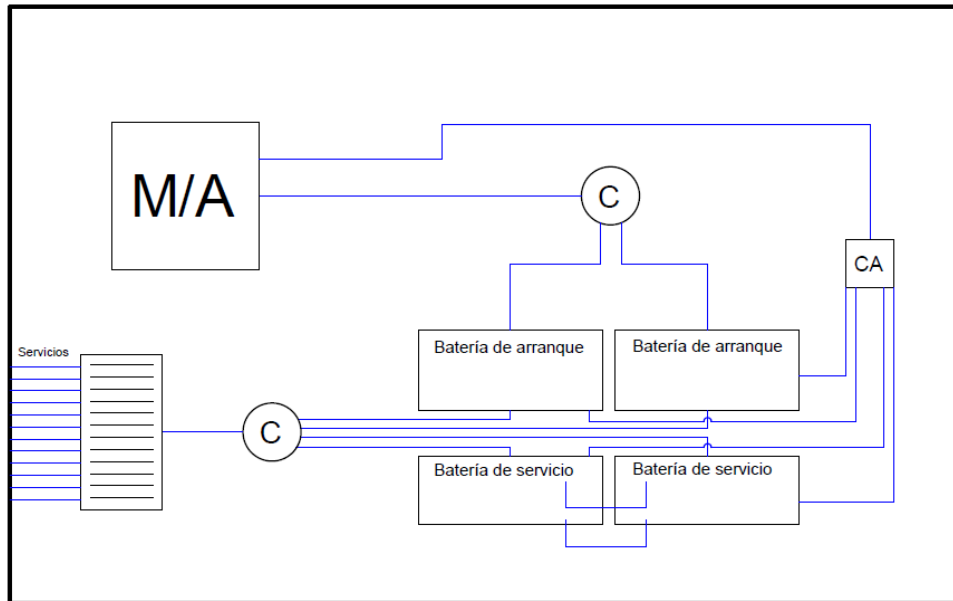


Figura 44: Distribución de los componentes del sistema eléctrico. Editado con Autocad

Donde:

- M/A: Motor/Alternador
- C: Conmutador
- CA: Cargador
- Panel de control

5.2 Sistema de Propulsión Mecánica

El Maxriter será propulsado por un único motor principal que estará apoyado sobre una bancada inclinada y alineado con el eje de la hélice.

5.2.1 Selección del motor

Se toma como punto de partida la resistencia al avance encontrada en el apartado 3.1 a velocidad de crucero y se busca un motor cuya potencia continua sea igual o inmediatamente superior a 40 kW.

Se determina que cumple estas condiciones el motor Mini-74 de Solé Diésel, cuya potencia es de 47 kW y potencia continua de 42kW, cumpliendo así con las especificaciones requeridas.



Figura 45: Motor Mini-74 47kW. Fuente: Solé Diesel

El Mini-74 requerirá un motor de arranque eléctrico de 2,2 kW de potencia

Consumo

Con la ayuda del gráfico de potencia - revoluciones del fabricante, se obtienen las revoluciones en condiciones de velocidad de diseño y se determina que a 8,5 knts (40kW), el eje del motor gira a 2000 rpm

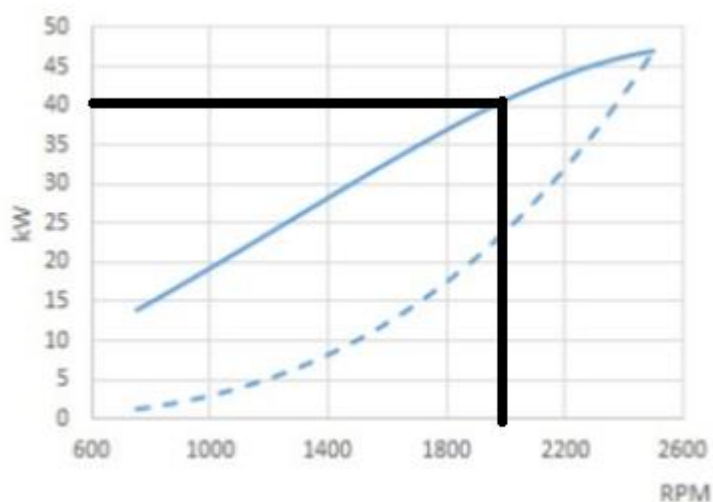


Gráfico 3: Relación potencia- revoluciones del Mini -74. Potencia del motor (continua), potencia del propulsor (discontinua). Fuente: Solé Diésel

Con ese dato y con la ayuda del gráfico de consumo – revoluciones, se obtiene el valor de consumo: 7 L/h

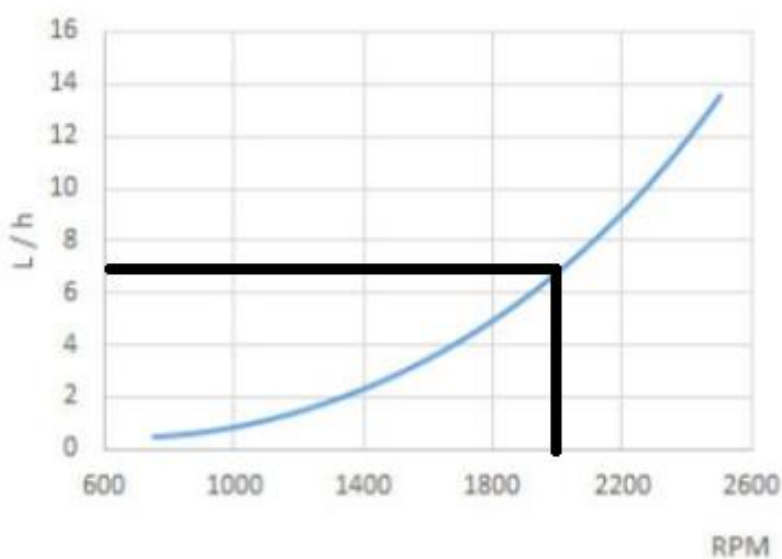


Gráfico 4: Relación Consumo - Revoluciones del motor Mini-74. Fuente: Solé Diésel

Inversor

El inversor elegido es el TM-93A del fabricante Technodrive, uno de los seleccionados por el fabricante. Se trata de un inversor hidráulico con 8 grados de inclinación, por lo que el motor deberá tener esa misma inclinación. Las ratios de reducción son de 2,40:1, 2:1 y 1,51:1.

Se escogerá el factor de reducción en función del cálculo de la hélice.

5.2.2 Cálculo de hélice

De la misma manera que con el cálculo de resistencia al avance, no existe un método exacto para determinar las dimensiones de la hélice. Para su cálculo, se usarán dos métodos distintos de manera complementaria.

Con el primero de ellos (Holtrop) obtendremos el rendimiento propulsivo óptimo mediante la variación del diámetro de la hélice, encontrando el mayor rendimiento propulsivo posible. Una vez obtenido el diámetro, se usará el segundo método (serie B) para encontrar el paso y comprobar que los diferentes valores obtenidos concuerdan en la mayor medida de lo posible. Se obtiene también un valor de resistencia al avance que se comprueba y coincide con el encontrado mediante el ensayo en Maxsurf Resistance.

Ambos métodos están representados en un documento Excel proporcionado y realizado por el profesor de la facultad de Náutica Julio Espinosa de la asignatura de Proyectos Navales.

Método Holtrop

El Excel correspondiente a este método pide las dimensiones de la embarcación y diversos coeficientes encontrados mediante el programa Maxsurf. Una vez se rellenan estos valores, el mismo Excel calcula todos los parámetros. Se realizarán todos los cálculos teniendo en cuenta que se está buscando una hélice de 3 palas.

En las tablas que se mostrarán a continuación se pueden distinguir dos colores de celdas. Las de color gris son los datos que el método necesita y las de color azul son las que calcula.

Datos del buque		
Eslora entre perpendiculares (m)	L	13
Manga (m)	B	4,4
Calado en la PP de proa (m)	Tf	0,8
Calado en la PP de popa (m)	Ta	0,8
Calado medio (m)	T	0,8
Volumen de carena (m ³)	Vol	10,25
Xcc en % de L a proa de 0.5 L (lcb)	Xcc	3,75
Superficie mojada estimada (m ²)	S	60,1
Superficie transversal del bulbo (m ²)	Abt	0,3
Altura centro bulbo (m)	hb	0,824
Coefficiente de maestra	Cm	0,998
Coefficiente de flotación	Cwp	0,851
Superficie del espejo (m ²)	At	0
Superficie de los apéndices (m ²)	Sapp	0
Coefficiente de formas de la popa	Cstern	1
Velocidad kn	V	8,5

Tabla 44: Datos del buque para el cálculo del rendimiento propulsivo (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Datos deducidos		
Froude	Fn	0,39
Coefficiente prismático	Cp	0,224
Eslora en flotación	Lwl	13,00
Coefficiente de bloque	Cb	0,32
Reynolds	Re	4,783E+07
Longitud de la carrera	Lr	3,66

Tabla 45: Datos deducidos a partir de los datos del buque (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Resultados de resistencia		
Resistencia viscosa	Cv	2,21
Resistencia de apéndices	R _{app}	0,00
Resistencia por formación de olas	R _w	1,04
Resistencia del bulbo	R _B	0,00
Resistencia del espejo	R _{TR}	0,00
Resistencia por la correlación modelo-buque	R _A	0,45
Resistencia Total (kN)	R _{total}	3,70
Potencia Remolque (CV)	EHP	21,70
Potencia Remolque (kW)	EHP	16,17

Tabla 46: Resultados de resistencia de la embarcación (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Datos de la propulsión (una hélice)		
Diámetro (m)	D	0,48
Número de palas	Z	3
Huelgo del propulsor con la línea base		0,26
Altura del eje desde la línea base (m)	ho	0,981
Rendimiento de la hélice	η_o	0,71
Rendimiento mec. de la línea de ejes	η_m	0,99
Densidad del agua (kg/m ³)	Ro	1025
Aceleración de la gravedad (m/s ²)	g	9,81
Viscosidad cinemática (m ² /s)	nu	1,19E-06
p0-pv (Pa)	p0-pv	98732,50

Tabla 47: Datos de la hélice (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Resistencia viscosa		
c12=		0,5372
c13=		1,003
1+k1=		1,613
Cf=		0,002325
Rf		1370
Rf*(1+k)=		2,21 kN
Resistencia de apéndices		
1+k2=		0
Rapp=		0,00 kN

Tabla 48: Resistencia viscosa y de apéndices (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Resistencia por formación de olas		
	si $Fn < 0,4$	
c7=	0,315	
iE=	37,905	
c1=	19,421	
c3=	0,179	
c2=	0,449	
c5=	1,000	
c16=	1,194	
m1=	-2,881	
c15=	-1,694	
m2=	-0,044	
m4=	-0,313	
lambda=	0,236	
Rw_a=	1,04 kN	
Rw=	1,04 kN	
	si $0,4 < Fn < 0,55$	
m4 para $Fn=0,4$	-0,339	
Rw_a para $Fn=0,4$	1	
m4 para $Fn=0,55$	-0,531	
Rw_b para $Fn=0,55$	0	
	si $Fn > 0,55$	
c17=	0,134	
m3=	-1,801	
Rw_b =	1 kN	
Rw_c =	0 kN	

Tabla 49: Resistencia por formación de olas (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Resistencia del bulbo		
Pb=	-0,703	
Fni=	3,851	
Rb=	0,002	kN
Resistencia del espejo		
Fnt=	0,000	
c6=	0,200	
Rtr=	0,000	kN
Correlación modelo-buque		
c4=	0,040	
cA=	0,001	
∂CA	0,000	
CA+ ∂CA	0,001	
Ra=	0,45	kN

Tabla 50: Resistencia del bulbo y espejo y correlación modelo-buque (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Cálculo de la hélice		
Coeficiente de estela		
C8	52,036	
C9	31,429	
C10	0,234	
C11	1,667	
C19	0,054	
C20	1,015	
CP1	-0,074	
Cv	4,52E-03	
w	0,010	
Coeficiente de succión		
t	0,240	
Rendimiento del casco	0,768	
Empuje de la hélice kN	4,9	

Tabla 51: Cálculo de la hélice (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Resultados de propulsion (una hélice)		
Coeficiente de estela	w	0,01
Coeficiente de succión	t	0,24
Rendimiento del casco	η_h	0,77
Rendimiento rotativo relativo	η_{rr}	0,89
Relación area expandida (fórmula de Keller)	Ae/Ao	0,67
Empuje de la hélice en kN	T	4,86
Rendimiento propulsivo	η_p	0,48
Potencia de empuje (CV)	THP	28,25
Potencia de empuje (kW)	THP	21,05
Potencia al freno (CV)	BHP	45,02
Potencia al freno (kW)	BHP	33,54

Tabla 52: Resultados de propulsión a una hélice (método Holtrop). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Se ha encontrado el valor del diámetro de la hélice teniendo en cuenta que, por normativa, el huelgo de la hélice con el casco no puede ser inferior del 10% de dicho diámetro. Usando el valor de 0,48 metros, el huelgo mínimo es de 4,8 centímetros y el real es de 26 por lo que no hay ningún problema. Se ha escogido ese diámetro porque es el que ofrece un mayor rendimiento propulsivo dentro de la limitación la cavitación. Se ha considerado que, si se escogía un diámetro muy elevado, las puntas de las palas de la hélice presentarían muchas vibraciones y serían mucho más sensibles a la cavitación. Es por eso que se ha escogido una hélice de diámetro 0,48 metros.

Método Serie B

Lo último es saber el paso de la hélice. Se usará la herramienta Excel de Serie B proporcionada por la Facultad Náutica de Barcelona.

Se deben introducir los valores que tienen las casillas de color azul para poder encontrar los resultados.

Datos de la hélice

AE/AO	0,380
Z	3
D	0,48 m
K_T	0,1879
T	5,0 kN
K_Q	0,0235
Q	0,3 kN·m
J	0,409
η_0	0,5193
$C_{0.75}$	0,1306 m
$V_{0.75}$	25,3 m/s
Rn	2,83E+06
BHP	46,10 kW

Datos del buque

R	3,660 kN
t	0,23
w	0,010
η_m	0,990
η_{rr}	0,910
V	8,5 kn
T	4,8 kN

Propiedades físicas

ρ	1025,000 kg/m ³
μ	0,0012 Pa·s

Variables

Paso	15	Pulgadas
Paso	0,381	Metros
P/D	0,794	
n	1324,5	rpm

Tabla 53: Datos del buque y hélice y cálculo del paso (método Serie B). Fuente Julio García Espinosa, asignatura Proyectos de Sistemas Navales (3r Curso)

Las celdas de color verde son las que se han ido variando hasta encontrar los valores óptimos. Dichas celdas son los parámetros de revoluciones por minuto y paso. Cada vez que se varía un valor, no solo se deben comparar los resultados obtenidos con esta herramienta y el Holtrop, sino que el valor de T calculado en el apartado de *datos de la hélice* debe ser igual o con un error muy pequeño al calculado en el apartado de *datos del buque*.

Los valores utilizados de rpm para la comparación han sido los factores de reducción que ofrece el inversor (2,4:1, 2:1 y 1,51:1), obteniendo como valor óptimo 1,51:1, ya que los otros provocan que el empuje sea demasiado alto respecto al calculado anteriormente.

El otro valor que se ha ido variando es el paso de la hélice. Se prueban todos pasos de las distintas hélices de diámetro 19 pulgadas (0,48 metros) del catálogo de Solé Diésel, cuyos valores son de 14, 15, 16 y 17 pulgadas.

Para la elección del paso se han probado todos los valores posibles, pero también se ha tenido en cuenta que cuanto mayor sea el paso, mayor será el empuje de la hélice. Es un dato muy bueno, pero cuando se aumenta el empuje, también crece mucho la posibilidad de cavitación. Por lo que se ha escogido un paso menor, sin llegar a ser el más pequeño, pero que ofrezca un empuje adecuado y poca tendencia a cavitación.

Un paso de 15 pulgadas cuadra perfectamente con los datos obtenidos con el Holtrop y con el empuje calculado mediante los datos del buque. Cabe destacar que esta hélice está diseñada para las revoluciones obtenidas por la reductora con un factor de 1,51:1, es decir, de 1324,5 rpm.

Con todos estos cálculos, se obtiene una hélice de características:

- Paso: 15 pulgadas, 0,38 metros
- Número de palas: 3
- Revoluciones de trabajo: 1324,5 rpm
- Empuje de la hélice: 5 kN
- Descripción del fabricante (Solé Diésel): Hélices de bronce al manganeso de 3 palas con equilibrado estático y dinámico, con cono 1:10.

Por lo tanto, se obtiene como resultado el siguiente esquema:

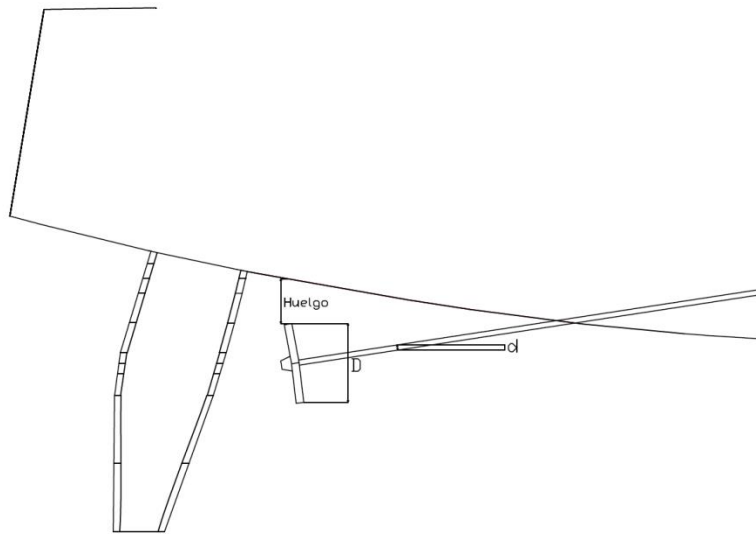


Figura 46: Disposición de hélice, timón y eje. Editado con Autocad

Donde:

- Huelgo = 0,26 metros
- D = 0,48 metros
- d = diámetro del eje

El diámetro del eje se calculará mediante la normativa ABS. Esta manda que se debe seguir la siguiente fórmula para calcular el eje:

$$d = c^3 \sqrt{KH/R}$$

- d: diámetro del eje en milímetros
- K: factor de servicio obtenido de la tabla 54
- H: potencia al freno en CV (45,02 CV)
- R: revoluciones del motor de servicio (2000/1,51 = 1324,5 rpm)
- c: constante obtenida de la tabla 55

<i>Shaft Material</i>	<i>Minimum Yield Strength at 0.2% offset kg/mm² (psi)</i>	<i>Minimum Elongation in 50 mm (2 in.) %</i>	<i>Yachting Service</i>	<i>Commercial Vessels up to 20 m (65 ft)</i>	<i>Commercial Vessels 20 m (65 ft) to 30.5 m (100 ft)</i>
Carbon and Alloy Steels (unprotected)	21 (30,000)	20	49	61	90
Carbon and Alloy Steels (protected)	21 (30,000)	20	43	50	84
Austenitic Stainless Steels	24.6 (35,000)	40	43	50	84

Tabla 54: Tabla de factores de servicio. Fuente: ABS sección 18, Tabla 18.1

El eje estará hecho de acero austenítico inoxidable y para una embarcación de menos de 20 metros, por lo que el valor de K es 50.

<i>Metric (Inch/Pound) Units</i>		
<i>Shaft Type</i>	<i>K < 84</i>	<i>K ≥ 84</i>
Lineshaft	24.13 (0.95)	20.32 (0.80)

Tabla 55: Constante c en función del factor de servicio K. Fuente: ABS Sección 18, apartado 2.

Se ha obtenido un valor de K menor de 84, así que el valor de c es 24,13 para el eje de transmisión.

$$d = 24,13 \sqrt[3]{\frac{50 * 45,02}{1324,5}} = 28,79 \text{ mm}$$

Se obtiene como resultado un diámetro mínimo de eje de transmisión de 28,79 milímetros. Para redondear, se ha escogido un diámetro de 35 milímetros.

5.2.3 Sistema de Escape

Existen dos tipos de sistemas de escape para las embarcaciones: escape seco y escape húmedo. El escape seco es idóneo para las embarcaciones pesqueras de arrastre, ya que tienen un volumen de gases tan grande no es viable instalar una salida de gases con un diámetro de tales dimensiones. Por lo tanto, instalan una chimenea en cubierta que permite evacuar los gases en seco sin dificultar las maniobras de trabajo. También se usa este sistema para las grandes embarcaciones de recreo, con una eslora superior a 30 metros. El motivo es el mismo: no se puede instalar una salida de gases en el casco con unas dimensiones tan grandes, ya que sería peligroso para la navegación. La correcta instalación de escape seco es mediante una chimenea en cubierta equipada con un silenciador, con el fin de evitar ruidos. La chimenea debe tener una altura suficientemente elevada para que los gases no se acumulen en cubierta.

La embarcación de este proyecto no pertenece a ninguno de estos dos casos, por lo que se dispondrá un sistema de escape húmedo.

Se denomina *húmedo* por el simple motivo de que se le añade agua de refrigeración del motor al escape, obteniendo muchas ventajas frente a la salida de gases sin sistema. Los gases salen a una temperatura muy elevada, alcanzando en algunos casos los 600°C y, al mezclarlos con agua salada se consigue:

- Se reducen con mucha efectividad los ruidos de los gases de escape, ya que el sonido se desplaza con mucha más lentitud por el agua que por el aire.
- Se reduce mucho la temperatura al inyectar agua salada, ya que los gases transfieren todo el calor. Frente al escape seco es mucho más cómodo y sencillo, ya que para el seco se debe instalar un conducto metálico que aguante las altas temperaturas y que esté bien aislado.
- Se evitan los malos olores de los gases cuando se mezclan con agua. Los gases disuelven sus partículas de olores en el agua y estos se reducen. Es una cualidad muy importante, debido a que la salida de los gases se encuentra en el casco y es muy fácil que el mal olor contamine la cubierta si no se cuenta con un buen sistema de escape.

Es muy importante destacar que los tubos empleados para todo el sistema deben cumplir la normativa ISO 13363:2016 – *Rubber and plastic hoses for marine-engine wet-exhaust systems*.

A continuación, se describirán los componentes del sistema de escape húmedo:

Purgador

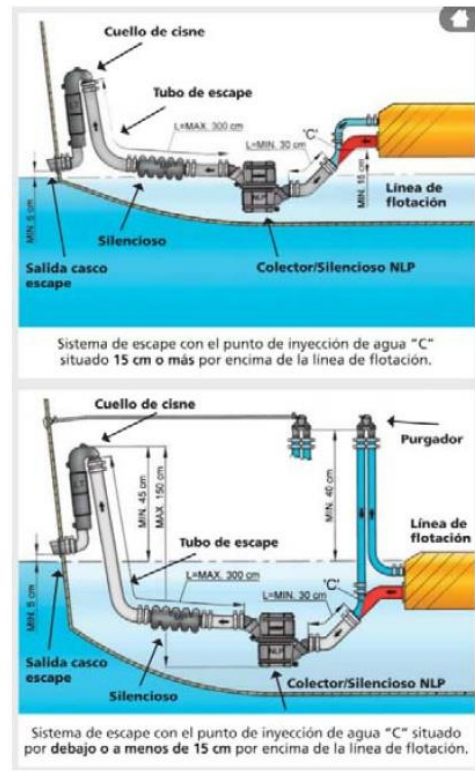


Figura 47: Ejemplos de sistemas de escape con y sin purgador. Fuente: Vetus

Es un elemento muy importante en este sistema si el punto donde se inyecta el agua salada a los gases está por debajo de la línea de flotación o a menos de 15 centímetros de esta. El motivo de su importancia es que en estas condiciones se produce un efecto conocido como *efecto sifón*, que tiene unas consecuencias fatales para el motor, ya que este se llena de agua salada. La solución es muy sencilla: elevar el punto de inyección de agua salada y evitar que el sistema de refrigeración esté presurizado. Se consigue mediante el purgador.

Este debe llevar un sistema que permita la entrada de aire al sistema de refrigeración con el motor parado, evitando que se quede presurizado. Este sistema puede ser mediante una válvula a presión o con una conexión al casco. Las dos son óptimas para la correcta entrada de aire, pero con la conexión al casco tenemos un beneficio extra: se puede comprobar muy fácilmente si el motor está refrigerando o si hay alguna obstrucción.



Figura 48: Ejemplos de purgadores con válvula de presión (izquierda) y con tubo de ventilación (derecha). Fuente: Vetus

La embarcación de este trabajo deberá llevar un purgador, debido a que el punto de inyección estará por debajo de la línea de flotación. Se instalará un purgador con conexión al casco.

Colector/silenciador

Su función principal es la de coleccionar los líquidos de sistema de escape, funcionando también como silenciador. En este componente es donde se mezcla el agua y los gases, por lo tanto, es donde se silencian los ruidos variando su dirección y velocidad y donde se eliminan los malos olores.

Al ser el punto más bajo de la línea de escape, también tiene la función de almacenar el agua del circuito cuando el motor está parado, evitando así su entrada al motor.



Figura 49 Ejemplo de Colector/Silenciador. Fuente: Vetus

Cuello de cisne

Este componente eleva el sistema por encima de la línea de flotación, consiguiendo que la salida en el casco tenga más altura y se evite así la entrada de agua salada no deseada.

Hay dos tipos de cuellos de cisne. El primero es instalar un cuello de cisne rígido, dificultando aún más la entrada de agua salada. La segunda es moldear la manguera de tal forma que se convierta en un cuello de cisne. El segundo tipo se puede usar solamente si se tiene instalado un silenciador más arriba.



Figura 50: Cuello de cisne rígido. Fuente: Vetus

Para la embarcación del proyecto se usará un cuello de cisne rígido, ya que este actúa también como silenciador, puesto que varía la dirección de la mezcla de agua y gas gracias a los separadores transversales que presenta en su interior. También favorece la correcta mezcla de los componentes a evacuar.

5.3 Sistema de Combustible

El Sistema de combustible es el encargado de recibir, almacenar y suministrar combustible a los equipos de abordo que lo requieran, en este caso, solo el motor principal. El combustible que utilizaremos y el mayormente utilizado en motores de combustión marinos es el Diésel.

La normativa de referencia para el diseño del sistema de combustible es la UNE-EN ISO 10088 vigente, que trata los sistemas de combustible instalados de forma permanente en embarcaciones de recreo.

Descripción del sistema

El sistema consta primeramente de una boca de llenado por donde se introduce el Diésel. Por el efecto de la gravedad y con la ayuda de la presión con la que sale, el combustible llega a un colector que lo distribuirá en los dos tanques almacén. De ahí se impulsará hacia el motor por acción de las propias bombas que este posee. El % de combustible no usado, volverá por una línea de retorno al tanque de combustible

Tanques almacén

Según la autonomía de diseño de 350 millas establecida en el apartado 2.3, el primer paso será el diseño del volumen de combustible que deberá llevar la embarcación, que se prevé distribuir en 2 tanques.

$$V_c = \frac{C}{V} = 288 \text{ L}$$

Dónde:

- V_c es el volumen de combustible requerido.
- C es el consumo de combustible del motor asociado a la potencia, velocidad y revoluciones de diseño, calculado en el apartado 5.1 = 7 L/h.
- V es la velocidad de diseño establecida = 8,5 kn

Se aproxima el volumen a 300 L, y se decide colocar dos tanques almacén de 150 L simétricamente colocados respecto a la quilla para no comprometer la estabilidad transversal.

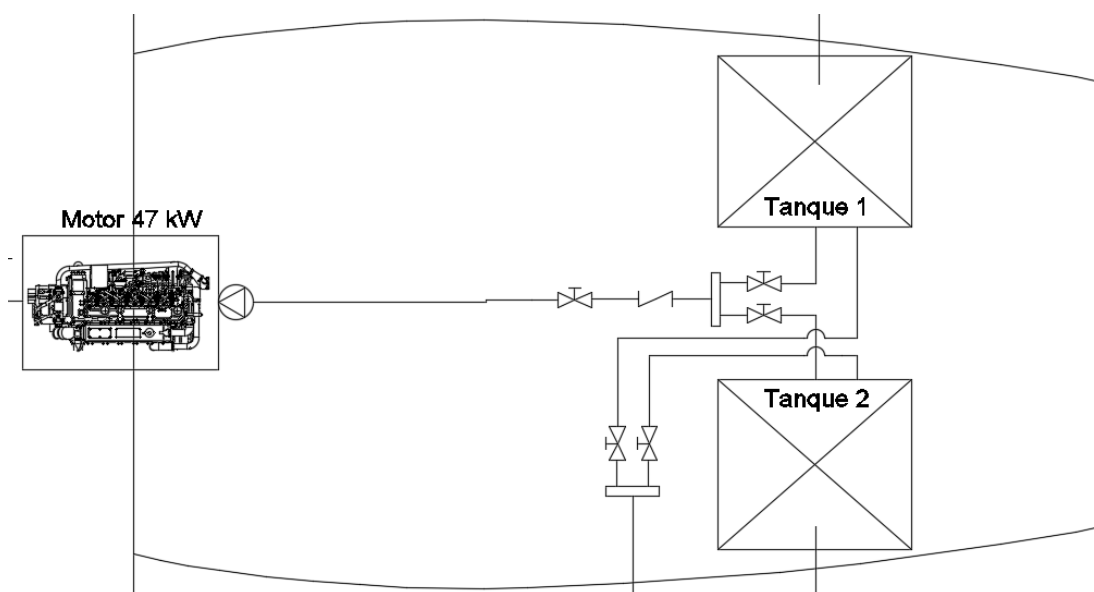


Figura 51: Vista preliminar del sistema de combustible. Editado con Autocad

Los tanques almacén serán de polietileno y moldeados a medida siguiendo la curvatura del fondo con el objetivo de ser colocados de manera que comprometan el menor espacio posible. Según especifica la normativa, los tanques estarán correctamente sujetos con silentblocks que evitan la vibración de estos. De la misma forma todo el sistema de tuberías estará bien estibado y aislado con el mismo fin.

La normativa exige también un sistema para evitar derrames por sobrellenado de los tanques o por la espuma generada por el combustible. Se instalará un depósito de reboses de 2L conectado directamente con el tapón de cubierta y conectado al tanque almacén por otro conducto. Al depósito de rebose también se le conectará la línea de purgado para evacuación de combustible al exterior, pasando por un filtro previamente.

Ventilación

Según normativa, el sistema debe funcionar sin fallos ni fugas entre los -10 y +80 grados y almacenar entre los -30 y +80 grados, así que se decide instalar un sistema de ventilación en el habitáculo de los tanques que comparará ventilador con el habitáculo del motor y cuyas tuberías también serán de fibra reforzada con pvc.

No se prevé que el sistema de combustible alcance la temperatura límite por normativa, pero al encontrarse directamente bajo estancias habitadas, la elevación de temperatura podría afectar al confort dentro de la embarcación. Se decide entonces instalar un sistema de

ventilación en el habitáculo de los tanques cuyas tuberías serán de fibra reforzada con pvc. Si la embarcación navega en una época más fría, el sistema de ventilación se podrá anular permitiendo que se caliente ligeramente la estancia principal.

Filtros

En todo el proceso anterior a que el combustible se encuentre en los tanques almacén del velero, este se puede contaminar con partículas sólidas imperceptibles que podrían dañar el motor, es por eso que en el tramo que existe entre los tanques almacén y el motor se requerirá un filtro de combustible en el que se eliminarán estas partículas de deshecho.

Por otro lado, tanto en el transporte, almacenamiento en puerto o almacenamiento en la embarcación, el combustible por condensación puede adquirir agua. Al ser también dañina para el motor, se requerirá también un filtro decantador.

En el Maxriter, se utilizará un filtro de combustible con separador que realiza las dos funciones nombradas anteriormente.



Figura 52: Filtro decantador y de partículas del sistema de combustible. Fuente: Volvo Penta

Mangueras y tapón

Las mangueras han de ser resistentes a las temperaturas que se pueden llegar a alcanzar en puntos conflictivos del sistema (hasta 120º), por lo que el material elegido será el propileno reforzado con fibra.

Líneas de llenado, suministro y retorno: las mangueras de llenado serán de 40 mm de diámetro, cumpliendo así con el mínimo por normativa de 38 mm.

La boca de combustible será homologada y de 51mm.

Impulsión de combustible

Debido a la poca distancia que separa los tanques almacén del motor, no se requieren bombas extras más allá de las que lleva el propio motor incorporadas, y que serán suficientes para bombear el combustible desde los tanques a los cilindros.

Válvulas y colectores

Existen un total de 5 válvulas distintas, todas ellas con accionamiento electrónico y accesibles para su accionamiento manual.

Válvula de Filtro: La primera válvula es la que se encuentra entre el motor y el filtro. Juntamente con las válvulas de suministro de los tanques permite aislar el filtro para su limpieza o manipulación.

Válvulas de suministro: Estas dos válvulas, una para cada tanque, permiten o cierran el paso del combustible al colector de suministro. Están conectadas y accionadas por el sensor de nivel de los propios tanques y su objetivo es el de mantener un suministro de combustible por igual de ambos tanques, sin extraer más de uno que de otro, manteniendo así la estabilidad transversal de la embarcación. El combustible que circula por ellas, desemboca en el colector donde se junta el combustible de ambos ramales para dirigirse al filtro.

Válvulas de llenado: De la misma manera que se controla el vaciado por igual de ambos tanques, estas válvulas permiten el llenado por igual, también accionadas por un actuador controlado por el sensor de nivel. Se sitúan entre los tanques almacén y el colector de llenado, que será el encargado de repartir el combustible entrante entre los 2 tanques.

5.4 Sistema de aguas y achique

El Sistema de agua a bordo se divide en tres grupos: el sistema de agua salada, el sistema de agua dulce o sanitaria y el sistema de generación de agua dulce

El sistema de agua salada se encargará únicamente de la refrigeración del motor mientras que el sistema de agua dulce tendrá como objetivo el suministro a los principales consumidores (duchas, grifos, inodoros...) y al consumo humano.

5.4.1 Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración es el encargado de rebajar la temperatura de trabajo del motor principal y evitar que este se sobrecaliente pudiendo comprometer su funcionamiento. Se realizará mediante un sistema cerrado de agua salada que seguirá el recorrido siguiente:

Grifo de fondo: Es la vía de entrada de agua de mar al sistema y estará situado bajo el nivel de flotación. Consta de una válvula de acción manual y automática, un pasa-cascos y una boca metálica con rejilla orientada en sentido inverso al flujo de agua para evitar el taponamiento de esta. La normativa de aplicación para los grifos de fondo y pasa cascós metálicos y sus conexiones es la UNE-EN ISO 9093-1 correspondiente a embarcaciones de recreo

Filtro de agua Salada: una vez recogida el agua por el grifo de fondo, se filtra para eliminar restos orgánicos mediante un filtro de acceso fácil y con una cesta de residuos retirable

A continuación, el agua entra en el circuito de refrigeración del motor impulsada por una pequeña bomba incluida en este. Para aprovechar la elevación de temperatura del agua salada después de pasar por el circuito de refrigeración, se envía al intercambiador del calentador de agua del sistema de agua dulce y una vez rebajada de nuevo la temperatura, se evacua al mar nuevamente por la boca de expulsión.

El dimensionado del sistema se encuentra en la tabla 57.

5.4.2 Sistema de agua dulce

Por seguridad, el Maxriter se diseñará para que pueda albergar en sus tanques almacén el consumo de agua dulce indispensable durante una semana, pero en condiciones normales, se contará con un generador de agua dulce a partir de agua salada recogida del mar lo que permitirá una mayor autonomía fuera de puerto.

Descripción del sistema:

El agua dulce potable se almacena en los tanques almacén de dos maneras posibles, una de ellas es la provisión directa desde puerto y otra mediante la generación de agua dulce a partir de agua de mar. A continuación, se bombea el agua del tanque de almacén al tanque hidróforo, donde el agua se almacena a presión para ser suministrada cuando se requiera.

Seguidamente, el circuito vuelve a pasar por un filtro potabilizador para asegurar que durante el almacenamiento el agua no se haya contaminado y pasado este punto el ramal se divide en el circuito de agua fría y el de agua caliente.

El circuito de agua fría está conectado directamente con el consumo, cuando se abra una llave de paso de alguno de los consumidores de a bordo, el agua se suministrará a presión.

El circuito de agua caliente seguirá el mismo proceso pasado antes por un calentador de agua que elevará su temperatura.

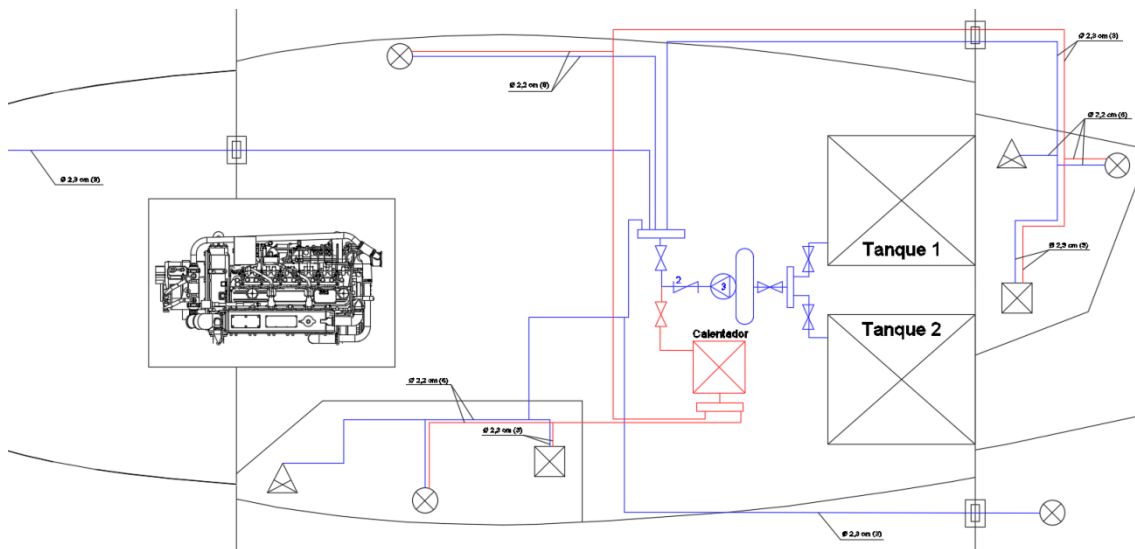


Figura 53: Vista preliminar del sistema de agua fría y caliente dulce. Editado con Autocad

El sistema consta de las siguientes partes:

Generador de agua dulce: Mediante un grifo de fondo con válvula automática y manual como el descrito en el sistema de agua salada, se recoge agua del mar según necesidad que, pasando previamente por un filtro, se impulsa al generador de agua dulce por la propia bomba interna este a 1 m/s. Una vez en el generador, se eliminará por completo la sal por ósmosis inversa y posteriormente se desinfectará quedando totalmente potabilizada.

El equipo desalinizador elegido será capaz de producir 30 L/h.

Tanques Almacén: Es el espacio donde se almacenará el agua potable generada por el desalinizador-potabilizador y la cargada en puerto. Como se ha comentado, se pretende diseñar el sistema de manera que se disponga de agua dulce para las necesidades principales sin generarla durante un tramo del trayecto de 7 días.

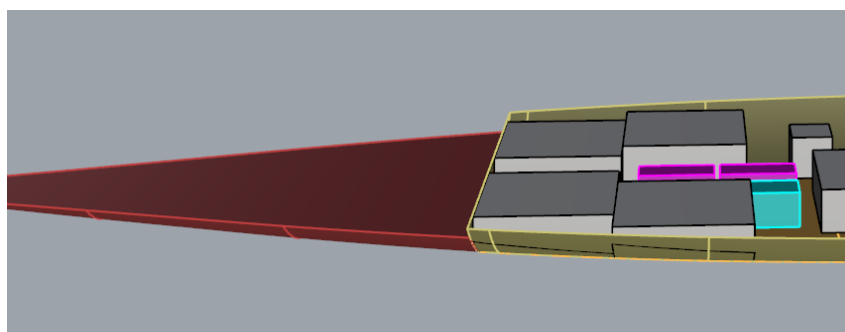


Figura 54: Vista de tanques almacén de agua y tanques de combustible (de izquierda a derecha). Editado con Rhinoceros

Se consideran como necesidades básicas el consumo propio de cada tripulante, el agua de los retretes, el gasto indispensable de la ducha, la limpieza general de cocina y el agua propiamente para cocinar. Teniendo en cuenta para el estudio el número de 3 tripulantes y los 7 días obtenemos la necesidad de 2 tanques de 150 L cada uno.

Servicio	L/uso	Usos/día	Capacidad
Agua de Consumo	3	1	63
Retrete	0,5	4	42
Cocina	2	2	84
Ducha	20	0,3	126
		TOTAL	315

Tabla 56: Estimación de capacidad de agua dulce de los tanques almacén. Editado con Excel

A demás de los 2 tanques principales, el sistema se adecuará para poder conectar depósitos adicionales siempre con su sujeción debida, que serán llenados siempre que se prevea una ruta de dicha duración.

En condiciones normales, con ayuda del generador de agua dulce se podrá utilizar un mayor consumo de agua del establecido.

Igual que sucede con el sistema de combustible, tanto el llenado desde puerto/generador como el vaciado por consumo, se hace de manera equilibrada vaciando y llenando los tanques por igual mediante un sensor de nivel conectado directamente a los diferentes colectores (llenado/vaciado) que distribuyen el flujo de agua.

Se estima un tiempo de llenado en puerto de 10 minutos aproximadamente, lo que indica un caudal de 30 L/min.

Calentador de agua: A bordo se dispondrá de un calentador de agua para uso principalmente de agua sanitaria en grifos y duchas. El calentador podrá funcionar de manera eléctrica conectado a las baterías o están eléctricos de puerto, o también recuperando el calor del agua de refrigeración del motor.

El intercambiador del calentador será tubular y permitirá una elevación de temperatura del agua dulce de entre 40 y 80°C a un máximo de 750W.

Se estima el peso del calentador elegido de 15kg

Válvulas: Las válvulas serán de no retorno y todas tendrán fácil acceso.

En el sistema de agua dulce encontramos las siguientes válvulas:

- Válvulas de grifo de fondo: Es la encargada de permitir la entrada de flujo de agua salada cuando el desalinizador está funcionando.
- Válvulas de la bomba: Son dos válvulas que se encuentran antes y después del grupo de bombeo (bomba + depósito hidróforo), se encuentran normalmente abiertos y permiten cortar el suministro de todo el sistema y aislar la bomba para su sustitución/limpieza.
- Válvula de calentador: Se encuentra a la salida del calentador y distribuye el agua potable caliente s presión por los diferentes ramales cuando se requiere.
- Válvulas de consumo: Son las válvulas que se encuentran en los diferentes puntos terminales en forma de grifos, en función de su modo de apertura se mezcla agua caliente y fría en mayor o menor proporción.
- Colectores: Existen dos colectores (llenado y vaciado), son los grupos que mediante válvulas se encargan de distribuir equitativamente el flujo de agua de llenado o vaciado en ambos tanques para evitar descompensaciones que puedan comprometer la estabilidad del velero

Bomba de agua y tanque hidróforo: La bomba de agua será la encargada de impulsar el agua de los tanques almacén hacia los puntos terminales de servicio. En la mayoría de casos de veleros, el agua se bombea directamente cuando se requiere, pero en este caso, se ha querido añadir un conjunto bomba-tanque hidróforo.

En vez de ser activada la bomba cada vez que hay un requerimiento de consumo de alguno de los puntos terminales, el agua vendrá del tanque hidróforo donde estará almacenada a presión. La bomba solo se activará cuando se detecte que el consumo es elevado y se requiera volver a llenar el depósito, evitando así un gran número de arranques innecesarios de la bomba.

Según el criterio seguido, el consumo máximo simultáneo será de 0,35L/h, por lo que el grupo bomba-tanque elegido tendrá un caudal de 22L/min (sobredimensionado un 5%) a una velocidad de 1,5m/s.

Conductos y Mangueras: Todos los conductos de transporte de agua dulce potable se usarán exclusivamente para el transporte de esta para no contaminar el agua y siempre que el sistema haya estado sin uso un tiempo, se dejará correr agua antes de su utilización.

Las mangueras serán de plástico y resistirán temperaturas de hasta 90 grados.

Para el diseño de diámetros se estudia una condición en la que se utilizará a la vez una ducha y otro punto terminal. Las dos duchas y los dos puntos terminales de cubierta, tendrán un caudal de agua de 0,2 L/s mientras que los demás puntos 0,15L/s.

Cada tramo de manguera tendrá una sección distinta en función del caudal de agua y velocidad de flujo requeridos para ese tramo.

Partimos de las siguientes expresiones:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{m^3/s}{m^2} \quad S = \frac{\pi x D^2}{4},$$

Dónde:

- V = velocidad del agua 1m/s para todo el proceso de generación de agua, 1,5m/s para suministro y variable e indiferente para llenado de tanques.
- Q = Caudal de agua: 0,35L/s para el ramal principal de servicio, 0,15 o 0,2 m/s para los ramales de puntos terminales y 0,2 para el sistema generador de agua dulce.
- S = sección de las tuberías.
- D = Diámetro de tubería

Aislado el diámetro de cada tubería, obtenemos la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4xQ}{\pi xV}},$$

De la que obtenemos los siguientes diámetros:

	Ramal	Caudal (L/min)	Velocidad de flujo (m/s)	Sección (cm ²)	Diámetro (cm)	Diámetro int. final (cm)	Diámetro ext final (cm)
generador	1	0,5	1	0,1	0,3	1,1	2,1
principal consumo	2	22	1,5	2,4	1,8	1,8	2,8
duchas	3	12	1,5	1,3	1,3	1,3	2,3
grifos	4	9	1,5	1,0	1,1	1,1	2,1
llenado 2	5	30	1,5	3,3	2,1	2,1	3,1
refrigeración	6	10	1,5	1,1	1,2	1,2	2,2

Tabla 57: Cálculo de secciones de conductos en sistema de agua dulce y refrigeración. Editado con Excel

Se desestiman las pérdidas de carga debido a que las longitudes recorridas por el sistema serán muy cortas y porque prácticamente no habrá desnivel, por lo que se ha directamente sobredimensionado un 5% el caudal de la bomba

5.4.3 Sistema de aguas sucias

El sistema de aguas sucias es el encargado de recoger, almacenar, tratar y evacuar toda agua dulce de abordo que haya sido utilizada y por lo tanto esté contaminada. Se considera agua sucia toda aquella que se ha suministrado del sistema de agua dulce por cualquiera de los puntos terminales de consumo del velero.

De los apartados propios de este sistema, el Maxriter no dispondrá métodos de tratamiento de aguas sucias, por lo que estas se almacenaran para ser evacuadas en puerto o en alta mar cuando sea posible. La normativa aplicable para el diseño del sistema es la ISO 8099, específica para embarcaciones de recreo.

Se divide el sistema en dos:

5.4.3.1 Sistema de aguas negras

Es el bloque dentro del sistema de aguas grises dedicado a la recogida y almacenamiento de aguas fecales, también llamadas como aguas negras.

Diseño del sistema:

El proceso se inicia después del uso de cualquiera de los dos inodoros que hay a bordo, el agua se evacuará hacia un tanque de aguas negras en el que se almacenarán hasta el vaciado en puerto, o en caso de estar permitido, vaciado en alta mar.

El inodoro utilizado en la embarcación será de tipo VacuFlush de Sealand/Dometic. Este inodoro elimina los residuos orgánicos por aspiración gracias a una bomba de vacío y los envía directamente al tanque. Este tipo de inodoro presenta un muy bajo consumo eléctrico en comparación con inodoros eléctricos convencionales (7 amperios por uso) y un muy bajo consumo de agua en cada descarga, 0,5L

Como se ha comentado, el Maxriter no presenta ningún método de tratamiento de agua sucias y según el anexo IV de MARPOL (Maritim Pollution), está prohibida la evacuación de estas aguas sin ningún tratamiento a menos de 12 millas y a una velocidad inferior a 4 nudos.

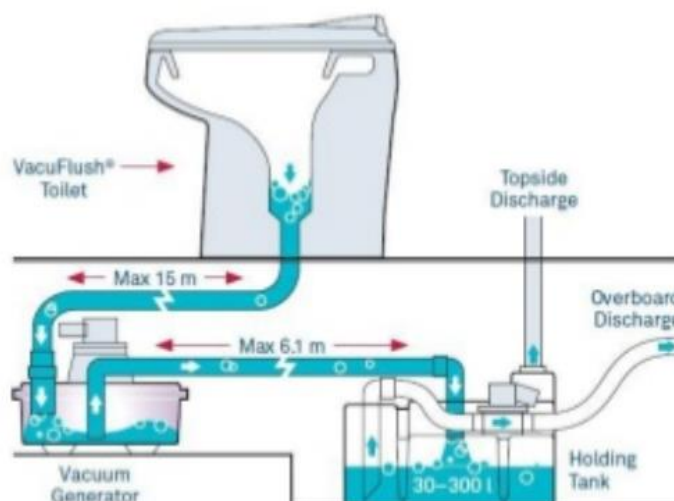


Figura 55: Funcionamiento de inodoro VacuFlush. Fuente: Sealand/Dometic

Por este motivo y estimando un tiempo máximo entre la costa y las 12 millas de 2 días, se diseñará un depósito capaz de almacenar aguas negras a bordo durante este tiempo.

Se realiza la siguiente estimación para calcular su capacidad:

$$0,5\text{L/descarga} \rightarrow 5 \text{ descarga/día} \rightarrow 3 \text{ Personas} \rightarrow 2 \text{ días} = 15\text{L} \rightarrow +20\% = \mathbf{20\text{L}}$$

El tanque dispondrá de ventilación propia con filtros de olor y descarga lateral para no comprometer el confort. Del tanque también salen los ramales de descarga a puerto y descarga a mar.

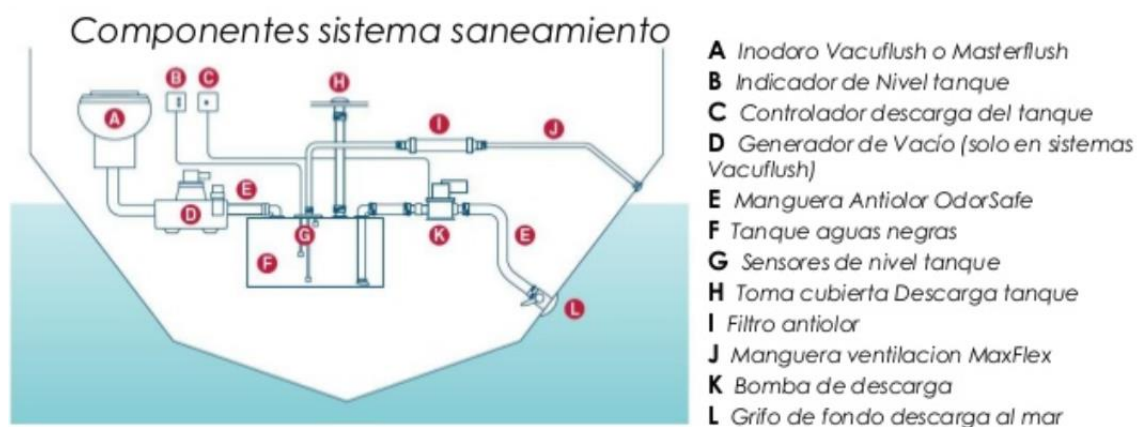


Figura 56: Componentes del sistema de aguas negras. Fuente: Sealand/Dometic

5.4.3.2 Sistema de aguas grises

El sistema de aguas grises se encargará de recoger el agua de todos los puntos terminales restantes, entre los que se incluye duchas, grifos y cocina. Es un agua mucho más limpia, pero al contener jabón y desechos de comida entre otros, está sometida a las mismas condiciones que el agua negra para su evacuación a alta mar.

ZONA	OPCIÓN DE DESCARGA
Aguas portuarias. Zonas protegidas. Rías, Bahías, etc.	No se permite ninguna descarga, ni siquiera con tratamiento.
Hasta 4 millas.	Se permite con tratamiento. Ni sólidos ni decoloración.
Desde 4 millas hasta 12 millas.	Se permite desmenuzada y desinfectada. Para descargar el tanque, la velocidad de la embarcación debe ser superior a 4 nudos.
Más de 12 millas.	Se permite en cualquier condición. Para descargar el tanque, la velocidad de la embarcación debe ser superior a 4 nudos.

Tabla 58: Restricciones de evacuación de aguas residuales. Fuente: BOE, Real Decreto 1434/1999, Cap V

La recogida de agua al tanque de aguas grises se hará de manera natural por acción de la gravedad, así que los diferentes ramales se dispondrán de manera que favorezca el sentido del flujo descendente.

Partiendo que el volumen total de agua de los tanques almacén es de 300 litros para 7 días, se estima un volumen de 170 L para los dos días en los que no podremos evacuar al mar.

De igual manera que en el caso anterior, el tanque de aguas grises cuenta con ventilación lateral y con filtro de olores y a su vez con descarga de agua a puerto y al mar.

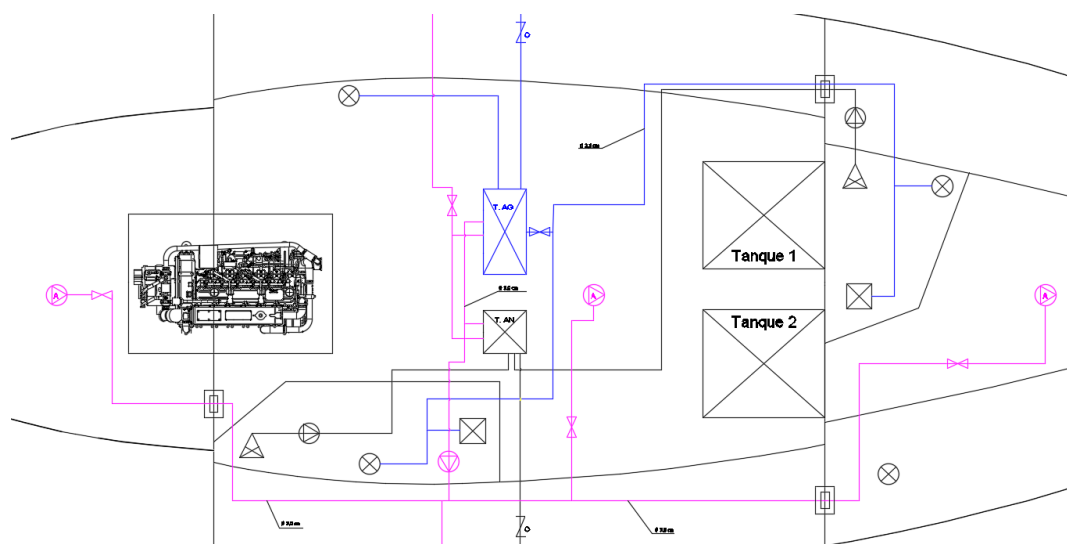


Figura 57: Vista Preliminar del sistema de recogida de aguas grises. Editado con Autocad

5.4.4 Sistema de Achique

El sistema de achique es el encargado de evacuar agua y líquidos que se recojan en la sentina del velero.

La sentina es un tanque situado en el doble fondo del barco donde se almacenarán líquidos y agua que se haya embarcado, ya sea de mar o filtraciones de algún sistema. En grandes embarcaciones se puede encontrar en la sentina lubricantes, combustible o agua de los diferentes sistemas, pero en el caso del Maxriter lo más común es que se almacene agua de lluvia filtrada por cubierta o agua de mar embarcada debido al oleaje.

La normativa de referencia para el sistema de achique es la UNE-EN ISO 8849 sobre Bombas de sentinas eléctricas de corriente continua y la UNE-EN ISO 15083 para Sistemas de bombeo de sentinas, ambas para embarcaciones de recreo.

Según la normativa española para la zona de navegación del velero deberemos instalar una bomba de achique manual fija accionada desde la bañera y otra eléctrica o mecánica, siendo eléctrica la elegida.

Tipo de embarcación	Características de la embarcación	Tipo de bomba	Requisitos de la bomba de sentinas o de los medios de achique	Apartado
Embarcaciones abiertas y con cubierta parcial Categorías de diseño A, B, C, D			Véase el manual del propietario	5.1.2
Embarcaciones con cubierta completa Categorías de diseño A, B, C	Puesto de gobierno expuesto	Bomba principal	1 bomba manual (altura de carga de agua menor de 1,5 m)	5.1.3.2 a)
			1 bomba manual, mecánica o eléctrica (altura de carga de agua igual o mayor de 1,5 m)	5.1.3.2 b)
	Puesto de gobierno protegido	Bomba secundaria	1 bomba manual, mecánica o eléctrica	5.1.3.3
		Bomba principal	1 bomba manual, mecánica o eléctrica	5.1.3.2 c)
Embarcaciones con cubierta completa	L_H mayor de 6 m	Bomba principal	1 bomba manual, mecánica o eléctrica	5.1.3.2
Categorías de diseño D	L_H menor o igual de 6 m	Bomba principal	1 bomba manual, para alternativas, véase el manual del propietario	5.1.3.2

Tabla 59: Requisitos de tipo y número de bombas de sentinas. Fuente: ISO 15083:2003

Las bombas equipadas tendrán una capacidad de evacuación de 30L /min, una potencia de 60W y habrá un total de 3, una por cada espacio entre mamparos según la disposición en plano.

6. Conclusiones

A pesar de que a primera vista el diseño y construcción de un velero convencional pueda parecer un proyecto con una única línea de diseño y muy establecida, la realidad es que cada uno de los bloques depende en mayor o menor medida de los demás. Esto ha hecho que sea difícil elegir el punto de partida, no solo porque ha marcado el inicio de la ruta de proyecto sino porque todos los siguientes apartados se han guiado de este, y de su precisión ha dependido la cantidad de vueltas en la espiral de diseño realizadas y el resultado del trabajo.

A medida que se ha ido desarrollando el trabajo, nos hemos dado cuenta de la importancia de una organización previa de cada uno de los pasos realizados y de la necesidad de una espiral de diseño bien definida. Siempre que ha sido posible se han usado diversas vías y métodos para desarrollar cada bloque del proyecto para aumentar la precisión en cada paso y, aun así, se ha tenido que retroceder en numerosas ocasiones.

En general, pensamos que hemos cumplido el objetivo principal del proyecto. Ya habíamos realizado partes independientes de la mayoría de los bloques de diseño realizados, pero ha sido ponerlos en conjunto todos y escoger el orden de estos la mayor dificultad y lo que nos ha ofrecido una visión de lo que supone trabajar en un proyecto real de este calibre.

También hemos demostrado nuestra capacidad para el trabajo y organización en grupo. En un proyecto real de estas dimensiones, intervienen un gran número de especialistas y profesionales con gran experiencia en su campo y trabajando en equipo. El hecho de haber realizado ese trabajo en un equipo de dos personas, nos ha ofrecido también la oportunidad de mejorar nuestra capacidad de discusión y organización en equipo.

Desde el inicio de trabajo, se descarta la realización del sistema de propulsión a vela y de los circuitos electrónicos internos. Los miembros y el director del proyecto hemos llegado a la conclusión de que la extensión de este ya era suficiente como para añadir estos conceptos, ya que por sí solos ya merecen un trabajo dedicado a ellos.

Se ha llegado a la conclusión de que el diseño de una embarcación desde su punto de partida es un camino muy abierto, no solo entre embarcaciones de con distintos propósitos y esloras, sino entre embarcaciones del mismo tipo. Tan importante ha sido el desarrollo del propio proyecto como la decisión previa de por dónde comenzar y qué pasos seguir, ya que cada error supone un gran retroceso y gran cantidad de tiempo perdido, que, en un proyecto real, implica también una elevada cantidad de dinero.

7. Bibliografía y Webgrafía

Normativas y Sociedades de Clasificación

1. American Bureau of Shipping (ABS). Rules for Reinforced Plastic Vessels. A: American Bureau of Shipping (ABS). Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 22 de abril del 2019. Disponible en <https://ww2.eagle.org/en/rules-and-resources/rules-and-guides/archives.html#/content/dam/eagle/rules-and-guides/archives/special_service/12_reinforcedplasticvessels>
2. Asociación Española de Normalización UNE. Pequeñas embarcaciones, sistemas de bombeo de sentinas ISO 15083:2003. A: UNE. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 19 de abril del 2019. Disponible en <<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0029254>>
3. Boletín Oficial del Estado. BOE Real Decreto 1434/1999 Capítulo V. A: BOE. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 05 de abril del 2019. Disponible en <<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1999-18663>>

Embarcaciones estudiadas

1. Beneteau. Beneteau Oceanis 411. A: Beneteau. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 11 de febrero 2019. Disponible en <<http://www.dufour-yachts.com/en/yachts/grand-large-460>>
2. Bavaria Yachts. Bavaria Yachts Cruiser 46. A: Bavaria Yachts. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 11 de febrero 2019. Disponible en <<https://www.bavariayachts.com/en-uk/sailing-yachts/cruiser-line/cruiser-46/highlights/>>
3. Bavaria Yachts. Bavaria Yachts Cruiser 41. A: Bavaria Yachts. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 11 de febrero 2019. Disponible en <<https://www.bavariayachts.com/en-uk/sailing-yachts/cruiser-line/cruiser-41/highlights/>>

4. Dufour Yachts. Dufour Yachts Grand Large 460. A: Dufour Yachts. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 11 de febrero 2019. Disponible en <<http://www.dufour-yachts.com/en/yachts/grand-large-460>>
5. Dufour Yachts. Dufour Yachts Grand Large 430. A: Dufour Yachts. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 11 de febrero 2019. Disponible en <<http://www.dufour-yachts.com/es/yachts/grand-large-430>>
6. Grand Soleil. Grand Soleil 46 LC. A: Grand Soleil. UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 11 de febrero 2019. Disponible en <<http://www.grandsoleil.net/lc46.php>>
7. Hanse Yachts. Hanse Yachts 46. A: Hanse Yachts. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 11 de febrero 2019. Disponible en <<http://hanseyachts.hr/range/>>
8. Marlow Hunter. The Marlow Hunter 47. A: Marlow Hunter. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión: 11 de febrero 2019. Disponible en <<https://www.marlow-hunter.com/large-keelboats-40-50-feet/the-marlow-hunter-47/>>

Materiales para laminado:

1. MELcomposites. MELcomposites maderas de balsa, fibras de vidrio y resinas. A: MELcomposites. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 13 de abril de 2019. Disponible en <<https://melcomposites.es/productos/>>
2. Plastiform. Plastiform fibras de vidrio y de carbono. A: Plastiform. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 13 de abril de 2019. Disponible en <<https://www.tiendaonlineplastiform.es/17-fibras-de-vidrio-y-de-carbono>>

Rutas de la embarcación:

1. Google Maps. Google Maps. A: Google. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 15 de marzo de 2019. Disponible en <http://www.maps.google.es>
2. Puertos del Estado. Puertos del Estado, histórico de viento y de olas. A: Puertos del Estado. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 17 de marzo de 2019. Disponible en <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Equipos y Sistemas

1. Dahlberg. Sealand Dometic, inodoros vacuflush. A: Dahlberg Sealand Dometic. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 29 de abril del 2019. Disponible en <https://www.dahlberg-sa.com/product-category/inodoros-principal/inodoros-de-vacio/inodoros-vacuflush-sealand-dometic/>
2. Exide Marine. Productos y Soluciones. A: Exide Marine. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 27 de abril del 2019. Disponible en <http://ows-cdn.tecdoc.net/exide/home.jsp?server=4&time=5/5/2019-22:12:58#b1ea24afdab83498548fa80fe6f82565> >
3. Solé Diésel. Motores Marinos, Mitsubishi MINI-74. A: Solé Diésel. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 21 de abril del 2019. Disponible en <http://www.solediesel.com/es-es/motores/mitsubishi/mini-74.aspx>
4. Solé Diésel. Hélices de 3 palas. A: Solé Diésel. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 25 de abril del 2019. Disponible en <http://www.solediesel.com/es-es/accesorios/helices-eje/helice-3-palas-2003.aspx>
5. Sotavento Escuela Náutica. Luces de navegación. A: Sotavento. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 26 de abril del 2019. Disponible en <http://www.sotaventononline.com/luces-de-navegacion/>
6. Vetus. Componentes del sistema de escape. A: Vetus. Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 30 de abril del 2019. Disponible en <https://www.vetus.com/en/exhaust-systems.html>
7. Filtro decantador y de partículas sistema de combustible Volvo Penta: Volvo Penta. Productos de Recreo Marino, filtros del sistema de combustible. A: Volvo Penta.

Barcelona: UPC (Universitat Politècnica de Catalunya). Última revisión 21 de abril del 2019. Disponible en <<https://www.volvopenta.es/marineleisure/es-es/products.html>>

8. Anexo

8.1 Plano de Formas

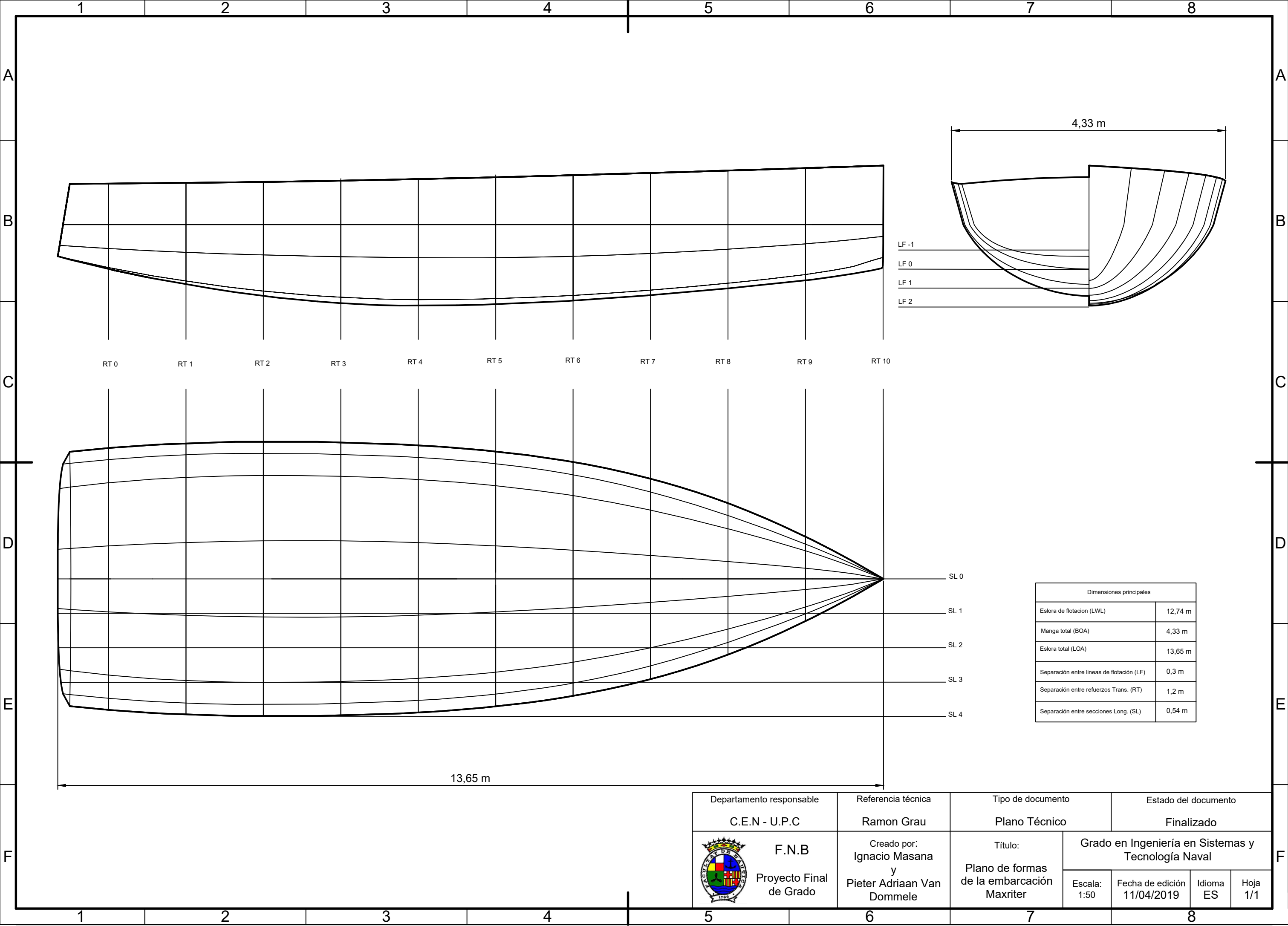
8.2 Plano de Cubiertas

8.3 Plano del sistema Eléctrico

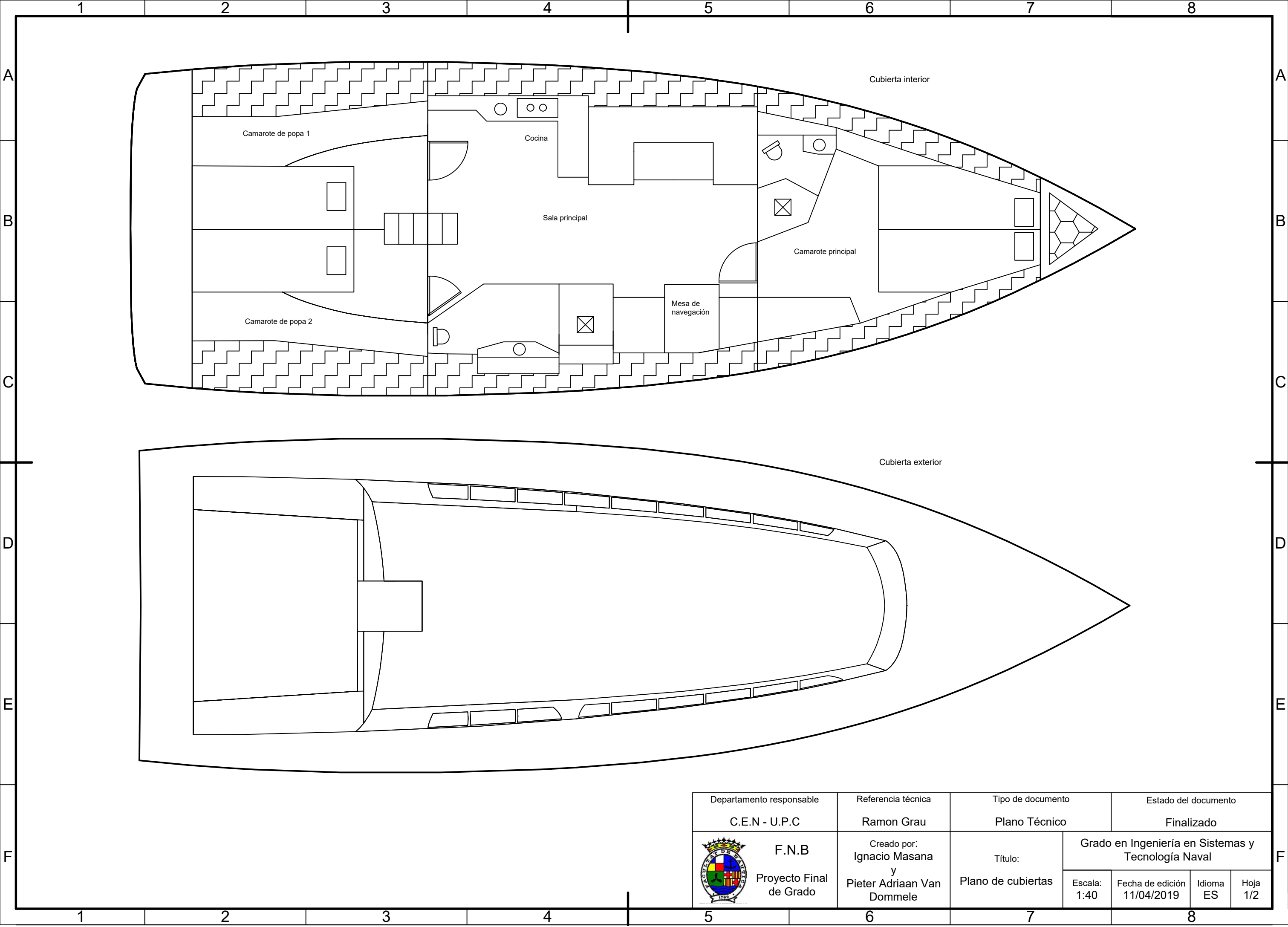
8.4 Plano del Sistema de combustible, escape y propulsión

8.5 Plano del Sistema de agua salada y suministro de agua sanitaria

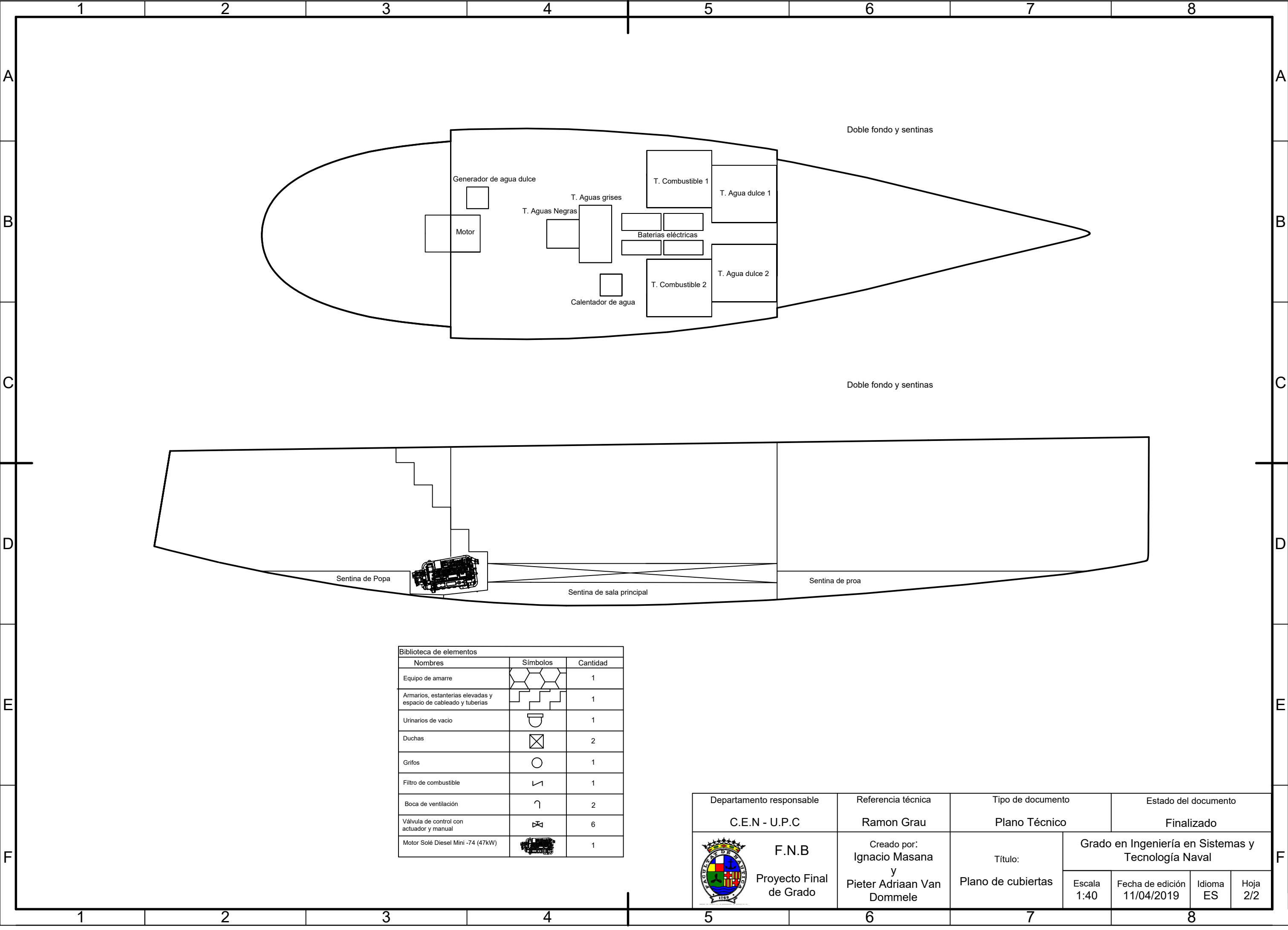
8.6 Plano del sistema de achique y aguas sucias



Departamento responsable		Referencia técnica		Tipo de documento		Estado del documento	
C.E.N - U.P.C		Ramon Grau		Plano Técnico		Finalizado	
 <div><div>F.N.B</div><div>Proyecto Final de Grado</div></div>		Creado por: Ignacio Masana y Pieter Adriaan Van Dommele		Título:	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval		
				Plano de formas de la embarcación Maxriter	Escala: 1:50	Fecha de edición 11/04/2019	Idioma ES

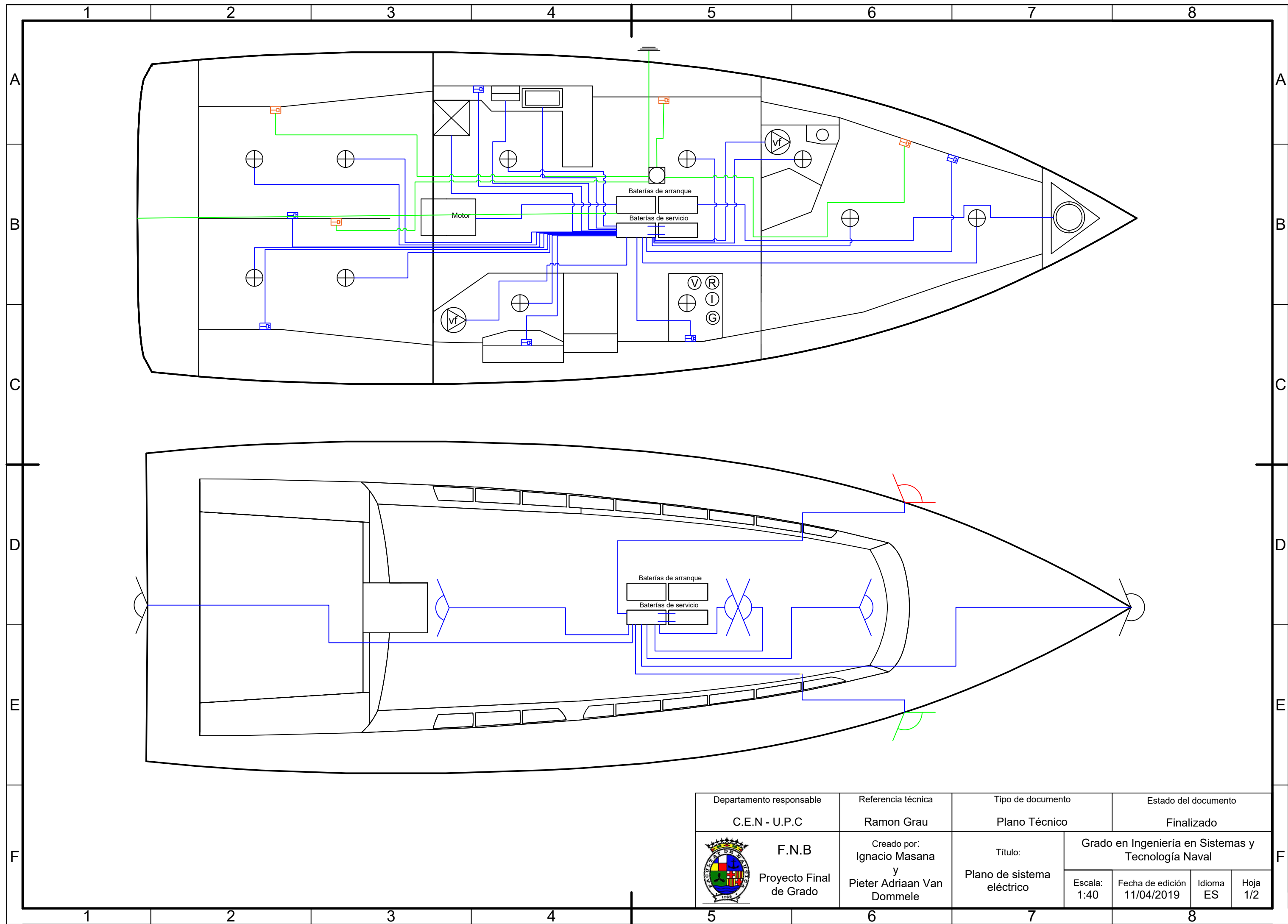


Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
C.E.N - U.P.C	Ramon Grau	Plano Técnico		Finalizado			
 F.N.B Proyecto Final de Grado	Creado por: Ignacio Masana y Pieter Adriaan Van Dommele	Título: Plano de cubiertas	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval				
			Escala: 1:40	Fecha de edición 11/04/2019	Idioma ES	Hoja 1/2	

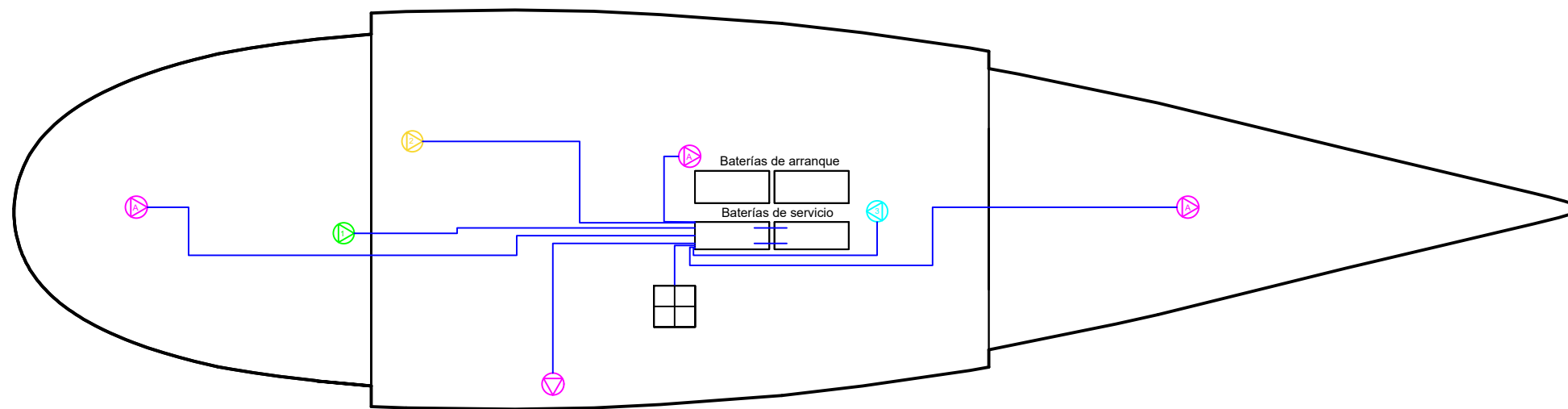


Biblioteca de elementos		
Nombres	Símbolos	Cantidad
Equipo de amarre		1
Armarios, estanterías elevadas y espacio de cableado y tuberías		1
Urinarios de vacío		1
Duchas		2
Grifos		1
Filtro de combustible		1
Boca de ventilación		2
Válvula de control con actuador y manual		6
Motor Solé Diesel Mini -74 (47kW)		1

Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
C.E.N - U.P.C	Ramon Grau	Plano Técnico		Finalizado			
	F.N.B Proyecto Final de Grado	Creado por: Ignacio Masana y Pieter Adriaan Van Dommele	Título: Plano de cubiertas	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval			
				Escala 1:40	Fecha de edición 11/04/2019	Idioma ES	Hoja 2/2

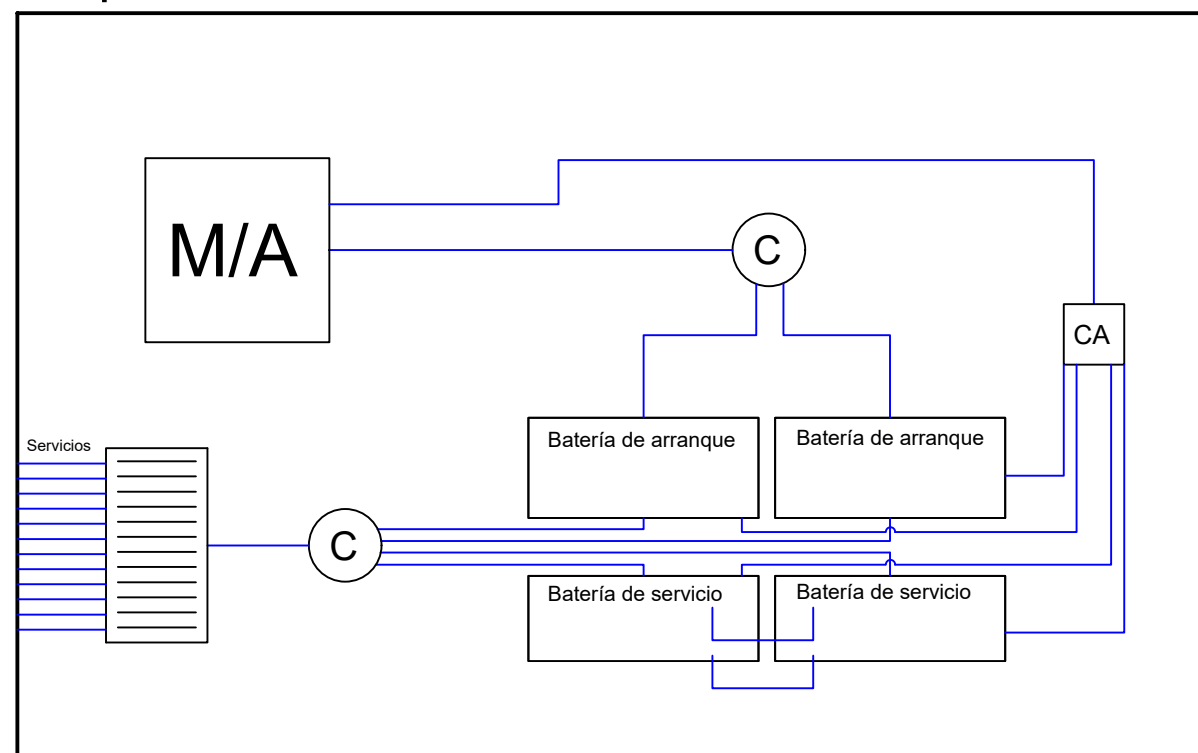



Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
C.E.N - U.P.C	Ramon Grau	Plano Técnico		Finalizado			
 F.N.B Proyecto Final de Grado	Creado por: Ignacio Masana y Pieter Adriaan Van Dommele	Título: Plano de sistema eléctrico	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval				
			Escala: 1:40	Fecha de edición 11/04/2019	Idioma ES	Hoja 1/2	

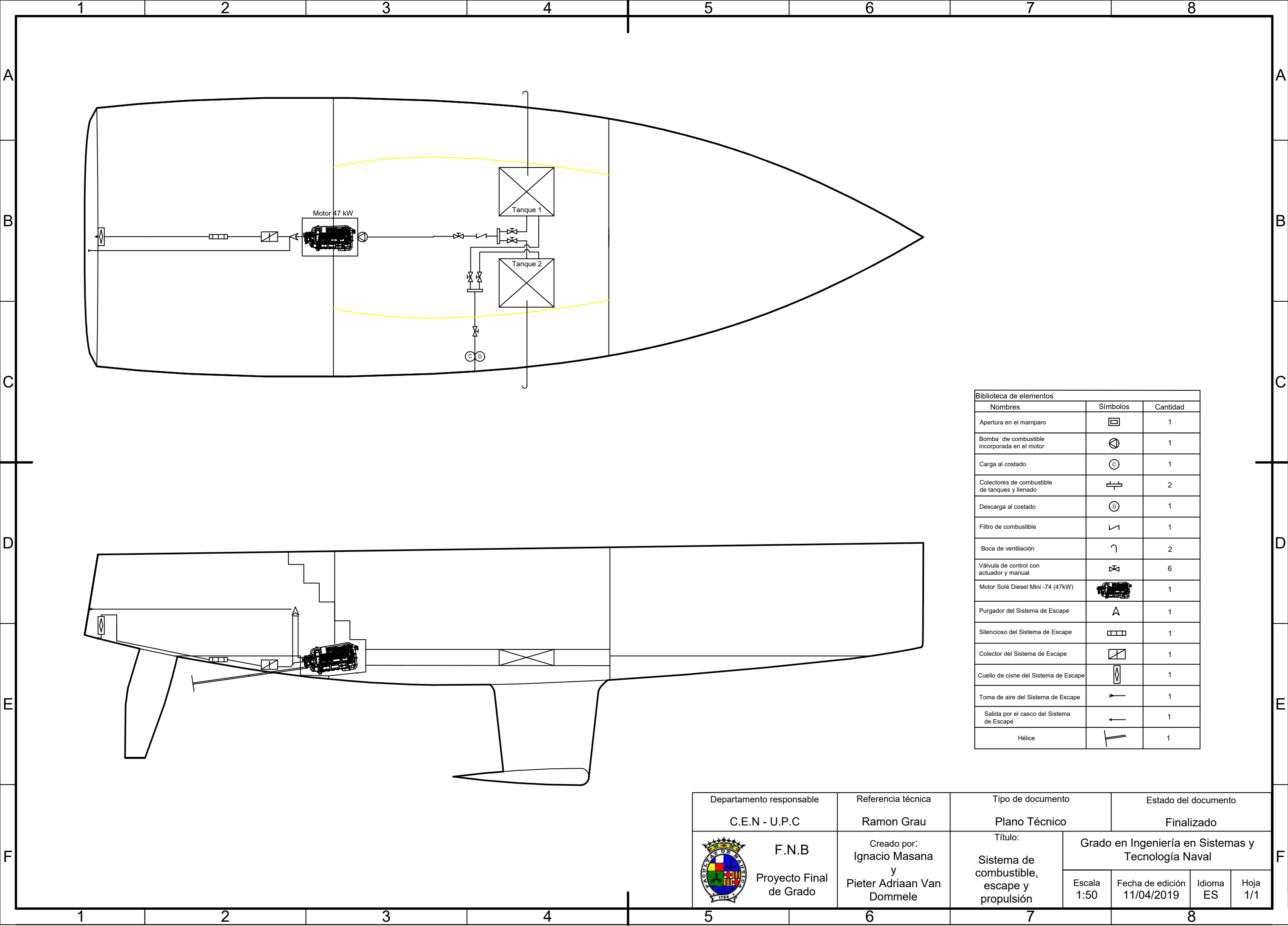


Biblioteca de elementos		
Nombres	Símbolos	Cantidad
Luces interiores		11
Luz de costado (babor)		1
Luz de costado (estribor)		1
Iluminación nocturna		4
Luz de todo horizonte		1
Luz de alcance		1
Horno eléctrico		1
Nevera		1
Extractor de cocina		1
GPS, Radar, Instrumentos de navegación, VHF		1
Molinete		1
Enchufes 12 V		6
Enchufes 220 V		4
Vacuum Flush		2
Panel 220 V		1
Toma de Tierra		1
Bomba de achique		3
Bomba de aguas sucias		1
Bomba de agua sanitaria		1
Generador de agua dulce		1
Bomba interna refrigeración del motor		1
Calentador de agua		1
Cargador de baterías		1
Conmutador		2
Moto/Alternador		1
Panel de control		1

Esquema de funcionamiento del sistema eléctrico

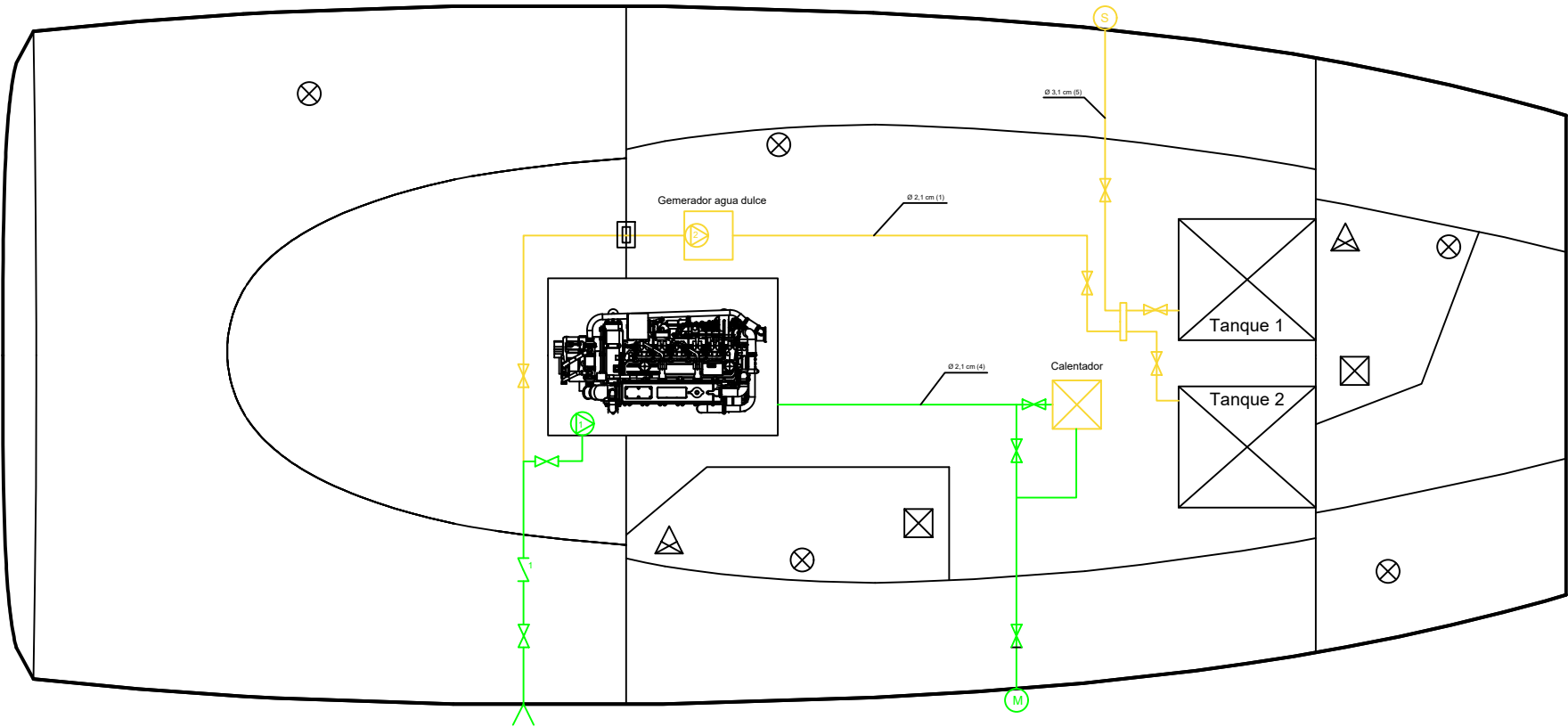


Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
C.E.N - U.P.C	Ramon Grau	Plano Técnico		Finalizado			
 F.N.B Proyecto Final de Grado	Creado por: Ignacio Masana y Pieter Adriaan Van Dommele	Título: Plano de sistema eléctrico	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval				
			Escala: 1:40	Fecha de edición 11/04/2019	Idioma ES	Hoja 2/2	

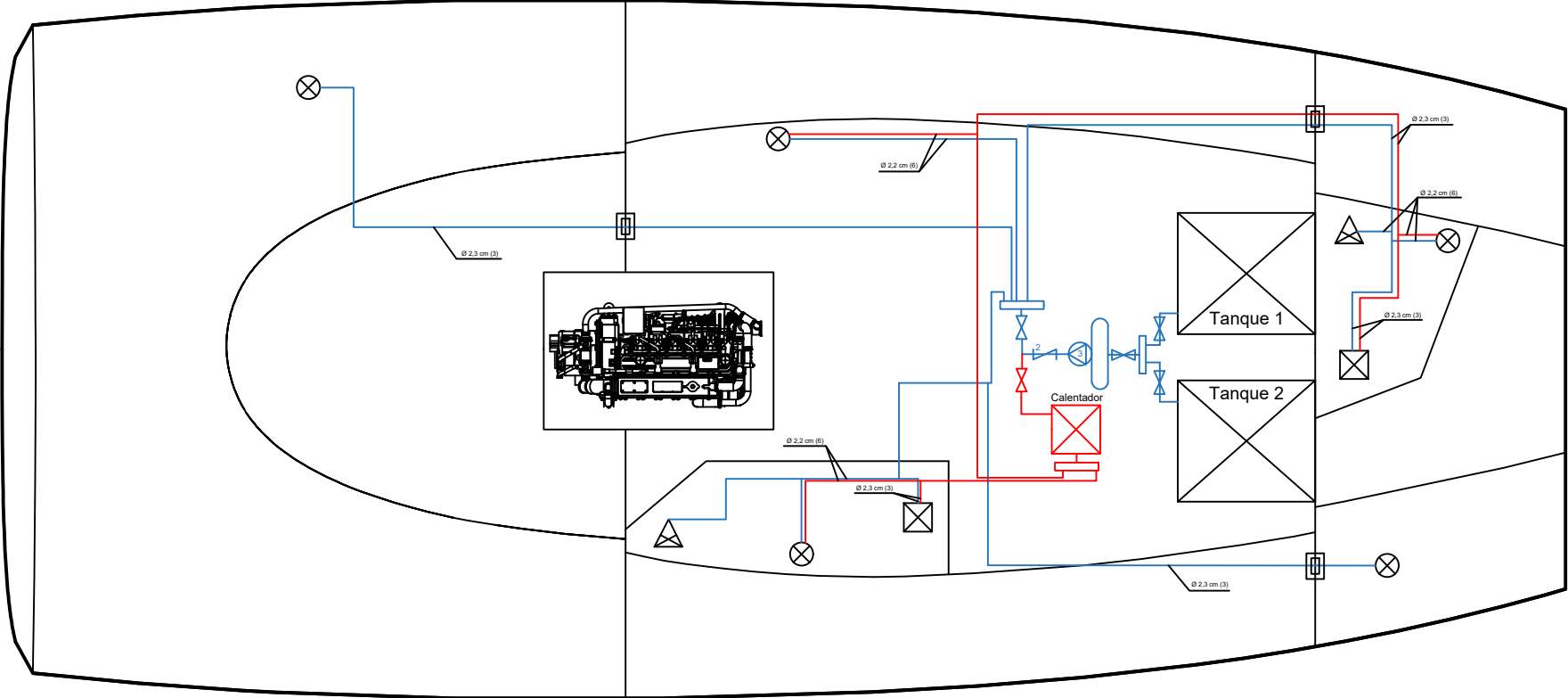


Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento		
C.E.N - U.P.C	Ramon Grau	Plano Técnico		Finalizado		
	F.N.B Proyecto Final de Grado	Creado por: Ignacio Masana y Pieter Adriaan Van Dommele	Título:	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval		
			Sistema de combustible, escape y propulsión	Escala 1:50	Fecha de edición 11/04/2019	Idioma ES
						Hoja 1/1

Sistema de Refrigeración del motor por agua salada y sistema de suministro, generación y almacenamiento de agua dulce




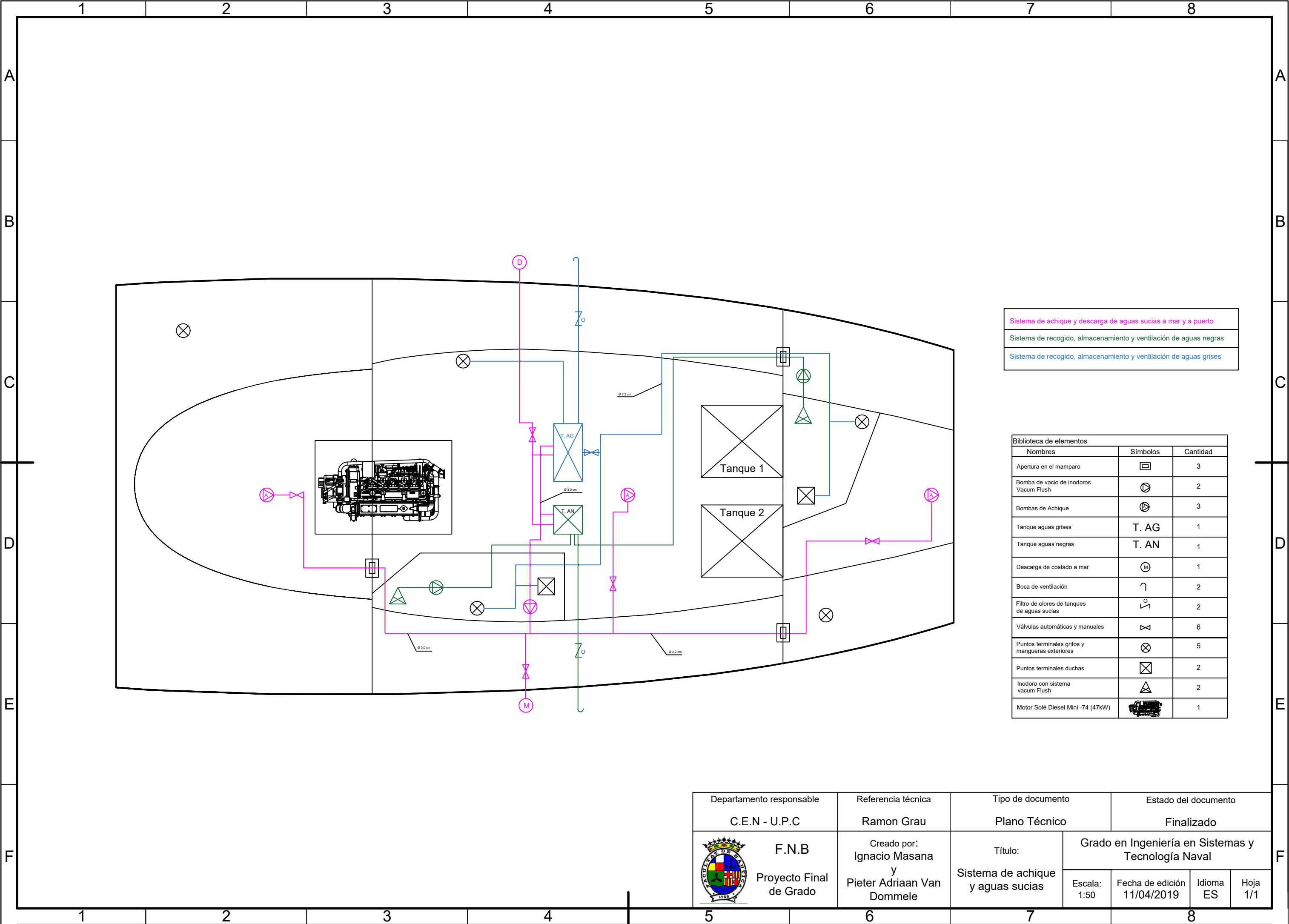
Sistema de suministro de agua dulce sanitaria caliente y fria a los diferentes puntos terminales



Sistema de refrigeración del motor por agua salada
Sistema de suministro, almacenamiento y generación de agua dulce
Sistema de suministro de agua dulce sanitaria caliente
Sistema de suministro de agua dulce sanitaria fria


Biblioteca de elementos		
Nombres	Símbolos	Cantidad
Apertura en el mamparo		3
Bomba de agua de refrigeración de motor interna		1
Bomba de generador de agua dulce interna		1
Punto de entrada de suministro		1
Colectores de agua		3
Descarga de costado a mar		1
Filtro de agua salada		1
Grupo de presión y bombeo de agua dulce		1
Válvulas automáticas y manuales		15
Pasa Cascos y Grifo de fondo		1
Filtro potabilizador		1
Puntos terminales grifos y mangueras exteriores		5
Puntos terminales duchas		2
Inodoro con sistema vacuum Flush		2
Motor Solé Diesel Mini -74 (47kW)		1

Departamento responsable		Referencia técnica		Tipo de documento		Estado del documento		
C.E.N - U.P.C		Ramon Grau		Plano Técnico		Finalizado		
	F.N.B	Proyecto Final de Grado	Creado por: Ignacio Masana y Pieter Adriaan Van Dommele	Título: Sistema de agua salada y suministro de agua sanitaria	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval			
					Escala 1:40	Fecha de edición 11/04/2019	Idioma ES	Hoja 1/1



Sistema de achique y descarga de aguas sucias a mar y a puerto
Sistema de recogida, almacenamiento y ventilación de aguas negras
Sistema de recogida, almacenamiento y ventilación de aguas grises

Biblioteca de elementos		
Nombres	Símbolos	Cantidad
Apertura en el mamparo		3
Bomba de vacío de inodoros Vacuum Flush		2
Bombas de Achique		3
Tanque aguas grises	T. AG	1
Tanque aguas negras	T. AN	1
Descarga de costado a mar		1
Boca de ventilación		2
Filtro de olores de tanques de aguas sucias		2
Válvulas automáticas y manuales		6
Puntos terminales grifos y mangueras exteriores		5
Puntos terminales duchas		2
Inodoro con sistema vacuum Flush		2
Motor Solé Diesel Mini -74 (47kW)		1

Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
C.E.N - U.P.C	Ramon Grau	Plano Técnico		Finalizado			
 F.N.B Proyecto Final de Grado	Creado por: Ignacio Masana y Pieter Adriaan Van Dommele	Título: Sistema de achique y aguas sucias	Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval				
			Escala: 1:50	Fecha de edición 11/04/2019	Idioma ES	Hoja 1/1	